



**OPTIMIZACIÓN DE LOS CICLOS DE CARGUE, TRANSPORTE Y
DESCARGUE DE CALIZA Y MEZCLAS (LIMOLITAS, CHERT, MARGAS)
EN LA PLANTA DE CEMENTOS ARGOS, TOLUVIEJO-SUCRE**

JESÚS LIBARDO BARRANCO LÓPEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA INGENIERÍA DE MINAS
SOGAMOSO, BOYACÁ
2017**



**OPTIMIZACIÓN DE LOS CICLOS DE CARGUE, TRANSPORTE Y
DESCARGUE DE CALIZA Y MEZCLAS (LIMONITAS, CHERT, MARGAS),
EN LA PLANTA DE CEMENTOS ARGOS, TOLÚVIEJO- SUCRE**

JESÚS LIBARDO BARRANCO LÓPEZ

**Trabajo de grado modalidad práctica empresarial como requisito para
optar al título de INGENIERO DE MINAS**

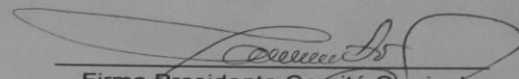
**Director: Mónica Yasmin Porras
Ingeniero de Minas**

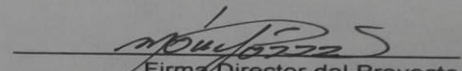
**COORDINADOR DE LA PRÁCTICA POR PARTE DE LA EMPRESA
Álvaro José Urango
Ingeniero de Minas**

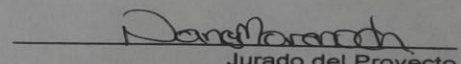
**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA INGENIERÍA DE MINAS
SOGAMOSO, BOYACÁ
2017**

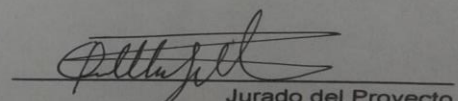


Nota de aceptación


Firma Presidente Comité Curricular
Carlos Alberto Uribe Suárez


Firma Director del Proyecto
Ing. Mónica Yasmin Porras


Jurado del Proyecto
Ing. Mg. Nancy Moreno Chacón


Jurado del Proyecto
Ing. Oscar González Millán

Sogamoso 19/07/2017



“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA SEDE SECCIONAL SOGAMOSO,
RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO NO RESPONDE DE LAS
OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”

SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN INDICANDO SU ORIGEN.



AGRADECIMIENTOS

Primero agradecer a Dios por permitirme culminar con éxito esta etapa de aprendizaje de mi vida.

A mis Padres JESÚS ALFREDO BARRANCO GÓMEZ Y LIBIA LÓPEZ PÉREZ por su apoyo incondicional en cada decisión de mi vida.

A mis Hermanos INGRIS, ANGELA Y ALFREDO por estar en cada etapa de mi vida brindándome sus consejos y guiándome por el camino de la rectitud.

A mis sobrinos que me impulsan a seguir adelante encaminándome a cumplir cada propósito en mi vida.

A mi novia Lina Bolívar, no me alcanzarían las palabras para agradecerle todo lo que ha influenciado en este paso del camino.

A mis amigos Rafael Cabarcas, Francisco Corzo, Cristian Benavides y Álvaro Aragón por convertirse en mi familia y brindarme momentos llenos de alegría.

A mi alma mater por ser pilar fundamental en mi desarrollo como profesional, siempre guiándome por el camino del aprendizaje.

Por último a cada una de las personas que de una u otra manera han contribuido en este proceso que me lleva alcanzar mi título como profesional.

TABLA DE CONTENIDO	Pag.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
1. GENERALIDADES	17
1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	18
1.2 VÍAS DE ACCESO AL PROYECTO	20
1.3 RAZON SOCIAL	21
1.4 SITUACION JURIDICA	21
1.5 GEOLOGÍA	21
1.5.1 Geología Local	22
1.5.2 Geología Estructural	25
1.5.3 Geología del Yacimiento.	25
2. ESTADO ACTUAL DE LA MINA	26
2.1 LABORES DE DESARROLLO	28
2.2 LABORES DE PREPARACIÓN	28
2.3 LABORES DE EXPLOTACIÓN	29
2.4 MAQUINARIA ACTUAL	30
2.4.1 Equipo de perforación	30
2.4.2 Equipos de arranque.	31
2.4.3 Equipos de Cargue	32
2.4.4 Equipos de transporte.	33
2.4.5 Otros equipos de la cantera.	36
2.4.6 Trituradora Laron	37
2.5 PRODUCCION DE LA CANTERA	40
3. CICLOS ACTUALES DE CARGUE Y TRANSPORTE	41
3.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES TRANSPORTADOS DENTRO DE LA CANTERA	41
3.1.1 Distancia desde los diferentes frentes y patio de pilas hasta la trituradora	42
3.2 EVALUACION INICIAL DE LOS CICLOS DE CARGUE Y TRANSPORTE DE MATERIAL	45

3.2.1	Ciclo de transporte de caliza:	45
3.2.2	Ciclo de transporte de mezclas:	46
3.2.3	Tiempos programados para los ciclos	47
3.2.4	Rendimientos del ciclo de transporte:	48
3.2.5	Tiempos reales de los ciclos:	50
3.2.6	Análisis de los ciclos.	55
4.	OPTIMIZACIÓN DE LOS CICLOS DE TRANSPORTE	58
4.1	<i>DISEÑO DE VÍA (NIVEL 70)</i>	58
4.1.1	Longitud:	58
4.1.2	Ancho:	59
4.1.3	Pendiente:	60
4.1.4	Radio de curvatura	60
4.1.5	Peralte	60
4.1.6	Compactación:	61
4.1.7	Berma:	62
4.1.8	Bombeo:	63
4.1.9	Cunetas	64
4.1.10	Criterios de la vía propuesta (nivel 70)	65
4.1.11	Resultados proyectados con la vía propuesta Nivel 70	65
4.2	<i>DISEÑO DE VÍA DE RETORNO DE NIVELES SUPERIORES (NIVEL 80, 90)</i>	67
4.2.1	Longitud:	67
4.2.2	Ancho:	67
4.2.3	Pendiente	68
4.2.4	Radio de curvatura:	68
4.2.5	Peralte:	68
4.2.6	Compactación	69
4.2.7	Berma:	70
4.2.8	Bombeo:	70
4.2.9	Cunetas	70
4.2.10	Criterios de la vía propuesta (niveles superiores 80 y 90)	71
4.2.11	Resultados proyectados con la vía propuesta niveles superiores 80, 90:	71
4.3	<i>OPTIMIZACIÓN CICLO TRITURADORA-PATIO DE PILAS</i>	74
4.4	<i>PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE VÍAS</i>	74
4.4.1	Objetivos:	74
4.4.2	Definición:	75
4.4.3	Elementos de la vía que se necesitan:	75
4.4.4	Equipos y materiales necesarios:	76
4.4.5	Procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento de la vía	77
4.5	<i>RESUMEN ECONÓMICO</i>	78
4.5.1	Costos Ciclo Actual	78
4.5.2	Costo ciclo propuesto	82
4.5.3	Ahorro generado:	84



CONCLUSIONES	86
RECOMEDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
GLOSARIO	89
ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Componentes del cemento	17
Tabla 2. Polígono de estudio	18
Tabla 3. Velocidades del Bulldozer 275A	32
Tabla 4. Velocidades Komatsut WA600	33
Tabla 5. Especificaciones técnicas Caterpillar 773G	34
Tabla 6. Característica trituradora Laron	38
Tabla 7. Recorridos frentes de explotación, patio de pilas-trituradora	43
Tabla 8. Tiempos programados para los ciclos. (min: seg)	47
Tabla 9. Paros programados	48
Tabla 10. Horas del turno.	48
Tabla 11. Tiempos del ciclo Trituradora - Nivel 70, Frente 1,	50
Tabla 12. Tiempos del ciclo frente 1, nivel 80 – trituradora	52
Tabla 13. Tiempos del ciclo frente 1, nivel 90 – trituradora	53
Tabla 14. Tiempos del ciclo patio de pilas – trituradora	54
Tabla 15. Peralte según velocidades y radio de curvatura.	61
Tabla 16. Ancho de bermas.	63
Tabla 17. Características de la vía Trituradora-Nivel 70	65
Tabla 18. Ciclo de transporte, frente 1, nivel 70 con la vía propuesta.	65
Tabla 19. Ciclo programado vs Ciclo propuesto	66
Tabla 20. Características de la vía niveles superiores	71
Tabla 21. Ciclo de transporte, frente 1, nivel 70 con la vía propuesta	71
Tabla 23. Ciclo programado vs Ciclo propuesto	72
Tabla 23. Procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento de la vía	77
Tabla 24. Personal cantera.	79
Tabla 25. Salario personal cantera	79
Tabla 26. Costo por combustible	80
Tabla 27. Costos por lubricación.	81
Tabla 28. Ahorro generado por tonelada transportada con la propuesta de optimización	84

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pag.
Ilustración 1. Ubicación planta Toluviejo.	19
Ilustración 2. Vías de acceso al proyecto.	20
Ilustración 3. Columna Litológica local	24
Ilustración 4. Trituradora Laron	39
Ilustración 5. Ubicación de los frentes de explotación.	42
Ilustración 6. F1, nivel 70-trituradora	43
Ilustración 7. F1, nivel 80-trituradora.	44
Ilustración 8. F1, nivel 90-trituradora	44
Ilustración 9. Patio de pilas-trituradora	45
Ilustración 10. Nueva via de transporte F1, nivel 70-trituradora	59
Ilustración 11. Compactación via nivel 70	62
Ilustración 12. Características de la via(nivel 70)	64
Ilustración 13. Diseño de cuneta	64
Ilustración 14. Compactación vía niveles superiores	69
Ilustración 15. Mantenimiento de via.	78

LISTA DE IMAGENES

	Pag.
Imagen 1. Frente de explotación de caliza.	23
Imagen 2. Bancos en Frente 1	26
Imagen 3. Limolitas en frente 3.	27
Imagen 4. Patio de pilas.	27
Imagen 5. Vías de la cantera	28
Imagen 6. Labores de preparación Frente 3.	29
Imagen 7. Frente 1, Nivel 70	30
Imagen 8. Perforador Atlas Copco ECM 720.	31
Imagen 9. Bulldozer Komatsu D275AX	32
Imagen 10. Cargador Komatsut WA 600	33
Imagen 11. Camión minero Caterpillar 773GY 773F	35
Imagen 12. Camión Dresser 210MM	35
Imagen 13. Motoniveladora Caterpillar 120G	36
Imagen 14. Camión de riego	37
Imagen 15. Cargue de caliza.	46
Imagen 16. Cargue y descargue de mezclas.	47



LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Plano de vías actual
- Anexo B. Plano de vías propuestas
- Anexo C. Transporte de caliza del nivel 70 a la trituradora
- Anexo D. Transporte de caliza del nivel 80 a la trituradora
- Anexo E. Transporte de caliza del nivel 90 a la trituradora
- Anexo F. Transporte de mezclas del patio de pilas a la trituradora

ABREVIATURAS

TTF: Tiempo de la trituradora al frente
TPZC: Tiempo posicionamiento zona de cargue
TCC: Tiempo cargue del camión
TFT: Tiempo del frente a la trituradora
TMT: Tiempo muerto trituradora
TMC: Tiempo muerto cargue
TPT: tiempo posicionamiento trituradora
TDT: Tiempo de descarga en la trituradora
TC: Tiempo del ciclo
ING: Ingeniero
CAT: Caterpillar
F1: Frente 1
F2: Frente 2
F3: Frente 3
PP: Patio de pilas
Min : seg: Minutos: segundos
Ton: Toneladas

RESUMEN

El presente trabajo, consiste en la optimización de los ciclos de cargue, transporte y descargue de caliza y mezclas llevados a cabo en la planta Tolu Viejo, propiedad de la multinacional Argos S.A, teniendo como base el análisis de los ciclos actuales y las condiciones bajo las cuales se llevan a cabo los mismos.

El proyecto consta de la toma de una serie de ciclos de transporte que se llevan a cabo diariamente en la cantera, haciendo un análisis adecuado en busca de la identificación de factores que alteren el normal funcionamiento del mismo y con base en este tomar medidas correctivas que optimicen cada etapa del proceso.

Como medida de optimización de los ciclos de transporte, se plantea la construcción de dos nuevas vías para el acarreo del material, las cuales tienen como objetivo la reducción del tiempo empleado y un programa de capacitación para los operadores de los equipos que intervienen en el proceso de cargue y transporte. Como complemento de las alternativas propuesta se brindan una serie de recomendaciones para el cuidado de cada una de las vías de la cantera y de esta manera cuidar los equipos y mejorar la eficiencia de la misma.



INTRODUCCIÓN

Dentro del ámbito nacional la multinacional cementera ARGOS S.A es la más importante en la fabricación de cemento y concreto, cubriendo el 51 % del mercado nacional y cuarto productor de América Latina. Esta multinacional tiene cobertura en gran parte del territorio nacional gracias a plantas de cemento y concreto, distribuidas a lo largo y ancho del país, las cuales deben cumplir el nivel de producción propuesto por la alta gerencia.

Como cualquier organización, ARGOS S.A, busca obtener el mayor beneficio económico, lo cual implica una disminución entre otras cosas de los costos de producción y un aumento en los rendimientos de esta.

Uno de los factores que se involucran en el rendimiento de la producción de la planta Tolu Viejo, son los ciclos de transporte, los cuales se llevan a cabo en el proceso de extracción de la materia prima, haciendo parte integral del proceso de producción del cemento. Una disminución en el tiempo de estos ciclos beneficia el rendimiento de los mismos, aumentando la cantidad de ciclos que se puedan realizar en un turno.

El aumento en los rendimientos de transporte implica una disminución de costos y un aumento en la producción, cumpliendo con eficiencia las metas establecidas por la alta gerencia de la organización.

El objeto del presente proyecto es plantear soluciones con el fin de lograr una optimización en los ciclos de cargue, transporte y descargue de la caliza y mezclas extraídas en la cantera lo cual se podrá ver reflejado en la maximización del beneficio económico dentro del proceso productivo de la planta Tolu Viejo.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

➤ Optimizar el ciclo de transporte en la cantera de Caliza y mezclas (limonitas y margas), de la cementera Argos S.A, planta Tolú viejo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

➤ Analizar las condiciones del sitio de cargue (frente de explotación) y descargue (tritadora).

➤ Verificar la maquinaria disponible, con respecto a su rendimiento y eficiencia en cada una de las etapas del ciclo de transporte.

➤ Estudiar las vías existentes y proponer mejoras en las mismas o el trazado de nuevas vías, para la reducción de tiempos de acarreo.

➤ Proponer las mejoras necesarias para la optimización de los tiempos de transporte.

1. GENERALIDADES

ARGOS S.A es considerada actualmente la empresa líder en Colombia en la industria del cemento, cuarto producto más grande en América Latina y segundo más grande en el sureste de los Estados Unidos. En Colombia la multinacional ARGOS S.A cuenta con nueve plantas cementeras ubicadas estratégicamente a lo largo y ancho del país, siendo la planta TOLUVIEJO la segunda más importante de la costa atlántica, seguida de planta Cartagena.

Planta Toluviejo se encuentra ubicada en el departamento de Sucre, en el municipio de Toluviejo, kilómetro 26 de la carretera que comunica la ciudad de Sincelejo con Tolú, actualmente esta planta se encuentra en una etapa de modernización debido a que la mayor parte de los equipos existentes tienen décadas de uso, ya que se inició operaciones en el año 1972, dentro de la línea de producción se fabrica; cemento gris de uso general, cemento gris de uso estructural, y cemento concretero.

Para llevar a cabo el proceso de fabricación del cemento esta planta cuenta con una cantera ubicada dentro de las instalaciones de la misma, la cual es la encargada de proporcionar la mayor parte de la materia prima necesaria para la fabricación del cemento. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Componentes del cemento

MATERIAL EXTRAÍDO	COMPONENTE	%
Caliza	Calcio	55 a 66
Marga Amarilla	Alúmina	19 a 26
Marga Gris	Sulfatos	3 a 6
Limolita	Hierro	4 a 7

Fuente. Datos de estudio, 2017.

ARGOS S.A dentro del plan de mejora de sus operaciones en cada uno de las líneas de producción, tiene como objetivo la disminución de los costos operacionales y un mejor desempeño de los equipos y personal con el que se cuenta, siendo la cantera el lugar en el cual inicia la línea de producción se plantea la necesidad de optimizar los ciclos de transporte existentes para la materia prima, desde cada uno de los frente de explotación, hasta la trituradora, lugar en el cual se entrega el material en unas características definidas para continuar con el proceso.

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La planta de cementos Argos S.A Toluviejo, se encuentra ubicada en el kilómetro 26 de la carretera que conduce del municipio de Toluviejo a Santiago de Tolú en el norte del departamento de Sucre, la planta hace parte de la jurisdicción del municipio de Toluviejo, ubicado a 140 Km de la ciudad de Cartagena y 182 Km de la ciudad de Barranquilla, Ver ilustración 1. Dentro del área de estudio se encuentran los arroyos Coraza, Don Juan, Pechelin y Colosó, entre otros. Toluviejo limita al norte con el municipio de San Onofre, al sur con la ciudad de Sincelejo, al este con Morroa y al oeste con el municipio de Santiago de Tolú. El área se encuentra ubicada en las planchas 44 –I - D, 44 – II -C, 44 – II – B, 44 – IV - A, del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC), comprende 1372.04 hectáreas según los títulos GH3-081 y 3632

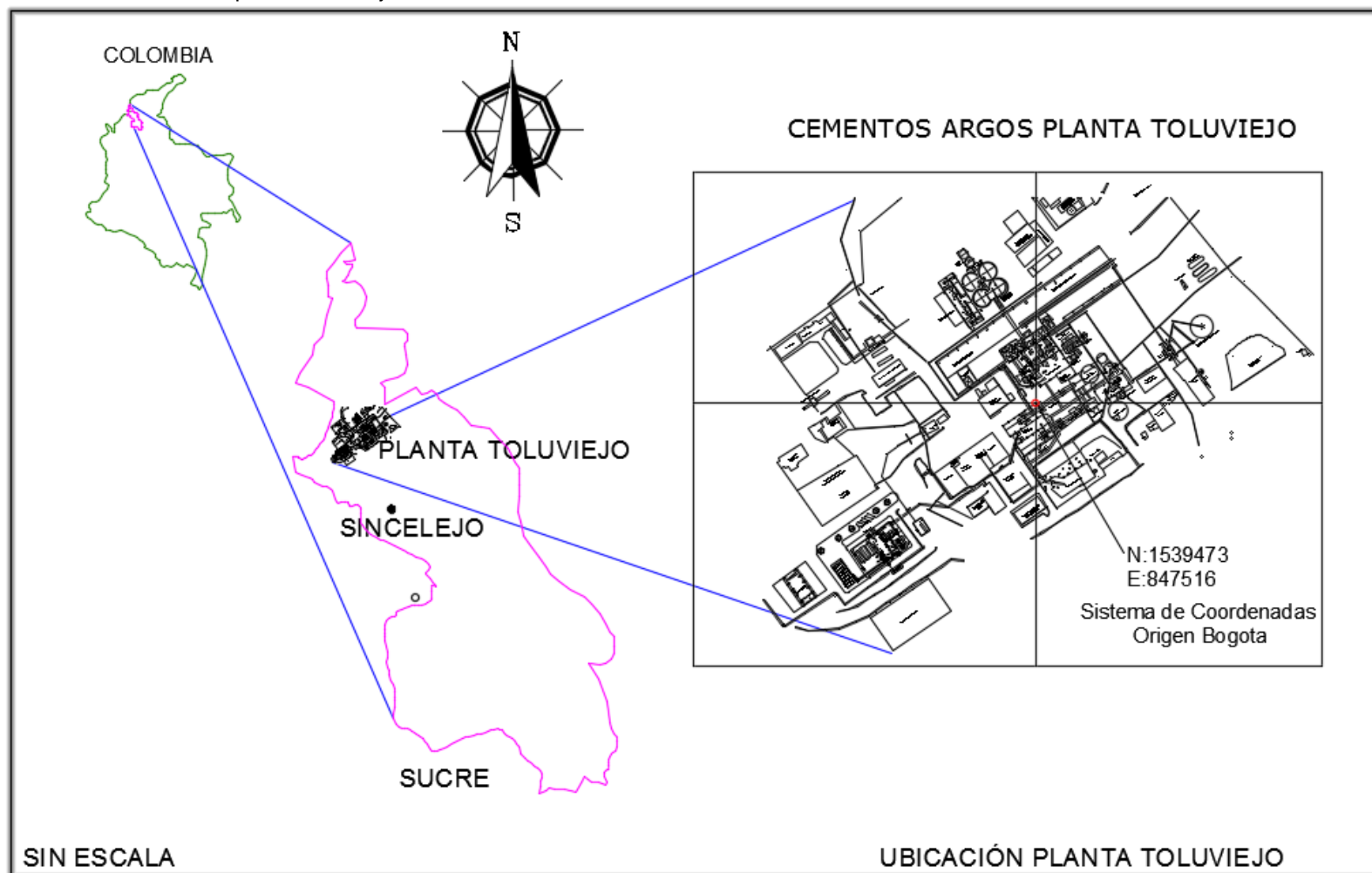
Delimitación definitiva de los títulos GH3-081 y 3632. Ver tabla 2.

Tabla 2. Polígono de estudio

PUNTO	ESTE	NORTE
1	849701.30	1543210.78
2	851878.31	1543324.87
3	849196.90	1538649.17
4	847992.25	1538586.04
5	846034.93	1536950.00
6	845000.00	1536950.00
7	845000.00	1538.000.00
8	846619.78	1539312.53
9	847465.74	1539312.53
AREA	1372.04	Ha.

Fuente. Consultoría minera y geológica. Programa trabajo y obras. 2013 p 2

Ilustración 1. Ubicación planta Tolviejo.



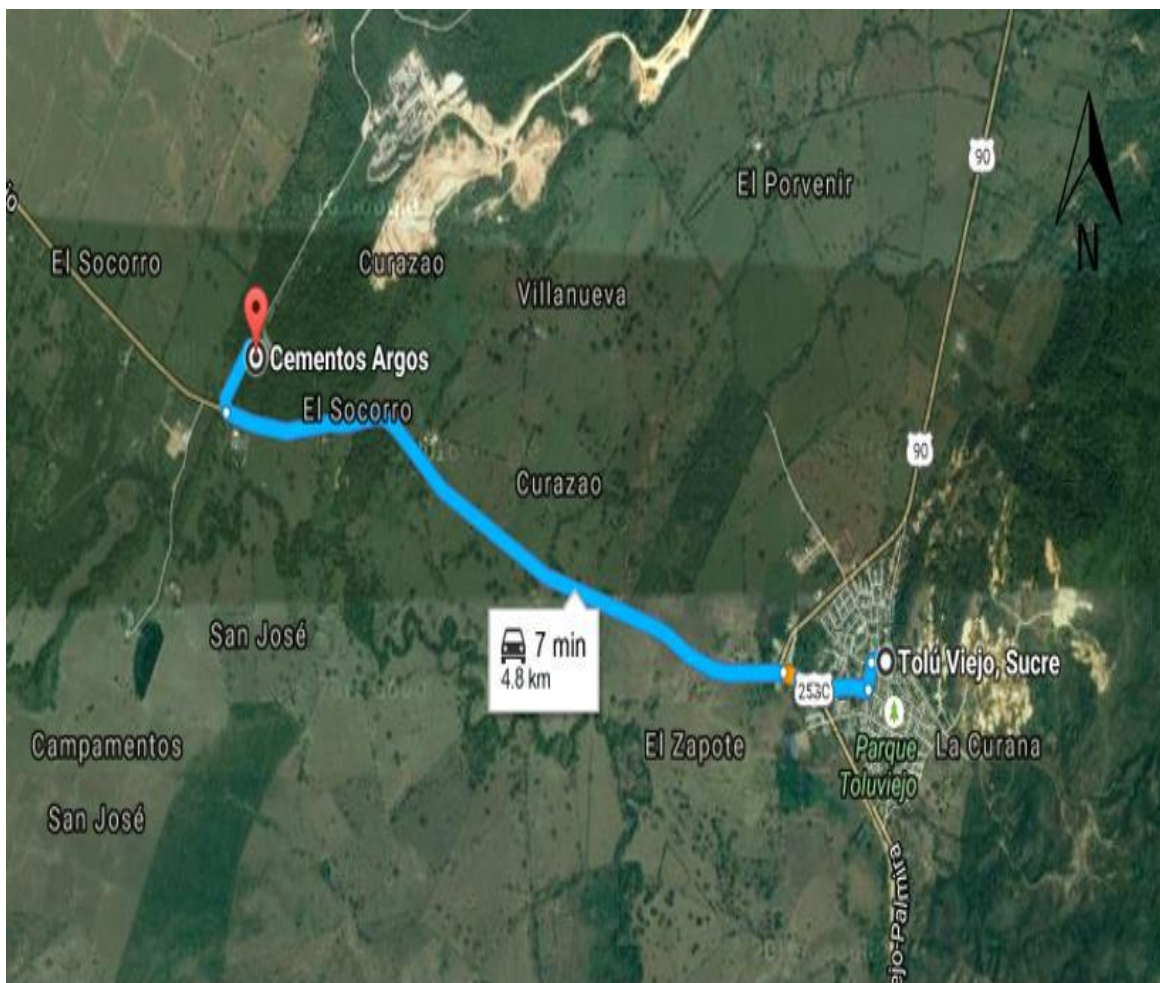
Fuente: Datos de estudio, 2017.

1.2 VÍAS DE ACCESO AL PROYECTO

La vía de acceso a la planta de cementos Argos S.A se encuentra en el kilómetro 26 de la carretera que conduce de Tolu Viejo a Santiago de Tolú, desviando en sentido nororiental aproximadamente tres kilómetros hasta la portería principal.

La carretera es asfaltada en óptimas condiciones para cualquier tipo de vehículo. Ver ilustración 2

Ilustración 2. Vías de acceso al proyecto.



Fuente. [www.google.es/maps\(2017\) ruta Tolu Viejo-cementos argos. 2017](http://www.google.es/maps(2017) ruta Tolu Viejo-cementos argos. 2017)



1.3 RAZON SOCIAL

Grupo empresarial: ARGOS S.A

Empresa de operaciones: CEMENTOS ARGOS S.A

Nit: 890.100.251-0

Teléfonos: (57 5) 2823232 Ext. 6227

Dirección: Km 26, Vía Sincelejo-Santiago de Tolú, Sucre

1.4 SITUACION JURIDICA

La planta Toluviejo, comenzó su operación en el año de 1972, bajo la razón social CALES Y CEMENTOS DE TOLUVIEJO S.A, tiempo en el cual se inició paralelamente la operación minera de la cantera, en el año de 2006 se cambia de razón social, ya que el grupo ARGOS, adquiere las acciones de la planta y se realiza una fusión a nivel nacional con todas las marcas pertenecientes al grupo, creando una marca unificada y adoptando el nombre planta Toluviejo ARGOS S.A.

Actualmente la cantera se encuentra en etapa de explotación de los títulos mineros GH3-081 y 3632, y licencia ambiental aprobada en la resolución 0033 del 18-03-00.

1.5 GEOLOGÍA

El área de estudio se encuentra localizada en una compleja zona de interacción entre las placas Caribe, Nazca, Suramericana y Panamá. Esta interacción ha generado varios bloques tectónicos con una historia de sedimentación y deformación diferente.

El sector de la Integración de los títulos mineros se localiza en la parte central del Cinturón Plegado de San Jacinto. Está constituido por una serie de pliegues paralelos a sub-paralelos a la dirección del cinturón, la cual es predominantemente N20°E, los cuales corresponden principalmente a anticlinales asimétricos con flancos amplios y poco inclinados que buzcan hacia el este y flancos cortos y empinados que buzcan al oeste. (Ingeominas, 1994). Esta interacción ha generado varios bloques tectónicos con una historia de sedimentación y deformación diferente.

En la zona afloran dos grupos estratigráficos, el Grupo Canzona y el Grupo Carmen (Duque- Caro, 1971, 1984). Específicamente en el área se referencian seis unidades, de edades entre Terciario- Paleógeno a Cuaternario.

1.5.1 Geología Local: De manera local se reconocen algunas pequeñas fallas satélites que afectan los niveles de calizas y conglomerados.

El yacimiento está conformado de techo a piso por una secuencia de limolitas, areniscas ferruginosas y calizas, que reposan discordantemente sobre un cuerpo de margas y estas a su vez reposan discordantemente sobre un cuerpo de lutitas o shales no calcáreos. Todas estas rocas hacen parte de la Formación Toluviejo y forman el flanco W del sinclinal de Toluviejo, cuyo eje corre paralelo a la carretera que de Toluviejo conduce a San Onofre. La dirección predominante de los cerros es N45E.

Esta secuencia estratigráfica hace parte de la Formación Toluviejo y forman el flanco occidental del sinclinal. Específicamente desde Cerro de Agua al sur, seguidamente por los cerros Villanueva y porvenir, extendiéndose así por una serie de estructuras hasta el norte del polígono. Al oriente la formación Toluviejo se adelgaza, pero conserva una dirección predominante de los cerros de aproximadamente N45E, como se mencionó anteriormente.

A continuación, se describen las diferentes unidades litológicas existentes en el yacimiento de base a techo. Ver ilustración 3.

➤ **Cuerpo de Lutitas o Shales no calcáreos**

Compuesto por una serie de capas de carácter areno-limo-arcilloso, color verdoso a gris oscuro en profundidad. Son shales calcáreos y lodolitas que infrayacen la capa de calizas pertenecientes a la Formación Toluviejo. Tiene un espesor aproximado de 20 m de espesor, abigarradas, compactas y homogéneas.

➤ **Cuerpo de margas y arcillas calcáreas**

Rocas compuestas esencialmente por arcilla y carbonatos con un contenido de carbonato que varía entre 20% y 70% (Vargas, 2012). El color es pardo y tiene un alto contenido de fósiles. La porosidad baja y presenta una permeabilidad primaria producto de la matriz rocosa. El espesor de este cuerpo de Margas es de aproximadamente entre 20-30 m.

A lo largo del afloramiento se observan la presencia de venas y concreciones de yeso, de espesores centimétricos. Se encuentra en contacto discordante con los shales y está constituida por una serie de niveles de textura limo arenosa.

➤ Cuerpo de Calizas

Supra yaciendo en contacto transicional el cuerpo de margas y arcillas calcáreas se presentan las calizas cuyas características son color blancuzco a gris claro en profundidad, aspecto masivo, densas, duras y compactas, muy homogéneas con alto contenido de restos coralinos y fósiles animales, cemento calcáreo. La edad de las calizas es Eoceno, su dirección es N50E buzando entre 15 y 25 grados al SE en el cerro Villanueva y N45E buzando entre 70 y 80 grados al SE en los cerros Porvenir y Cal. El espesor varía a lo largo de todo el yacimiento entre 10 y 80 metros y los títulos varían entre 96 y 98% de carbonato.

El paisaje de la zona está controlado por las calizas y sus rasgos geomorfológicos de apariencias Kárstica son reconocibles a simple vista. Ver Imagen 1.

Imagen 1. Frente de explotación de caliza.

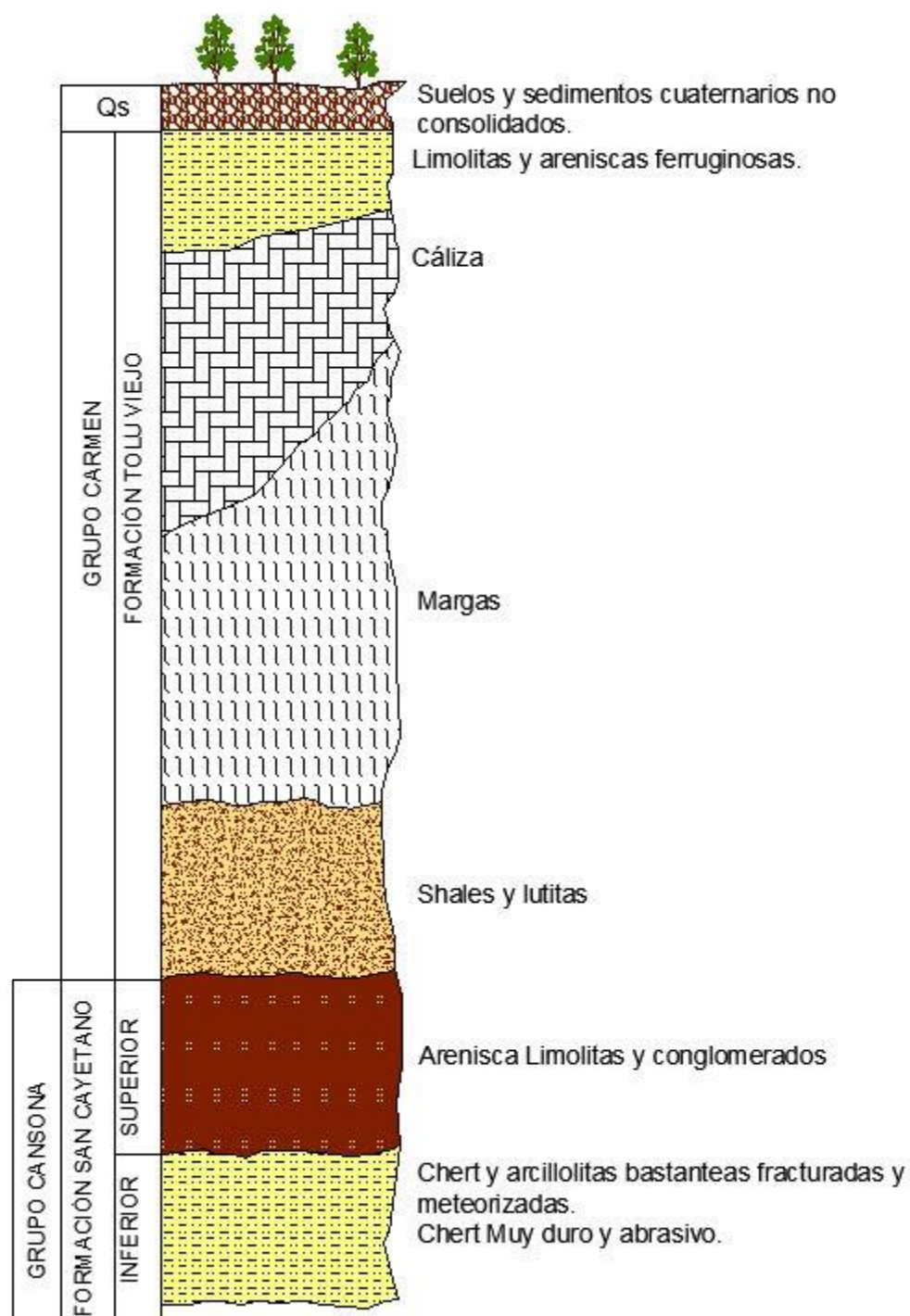


Fuente. Autor del proyecto, 2017.

➤ Cuerpo areniscas y limolitas arenosas

Se encuentran encima de las calizas pertenecientes a la Formación Toluviejo y tienen una coloración café amarillenta en superficie y gris verdosa en profundidad. Su aspecto es masivo. Encima de las areniscas ferrosas aparecen limolitas arenosas cuya coloración es grisácea y parda amarillenta en superficie. Su aspecto es masivo, compacto y homogéneo.

Ilustración 3. Columna Litológica local



Fuente. Consultoría minera y geológica. Programa trabajo y obras. 2013 p 20

1.5.2 Geología Estructural. Estructuralmente la forma regional de esta topografía tiene un sentido en rumbo NE y un sentido en buzamiento SE y datos de estratificación en forma general de N30E/70–80 SE, lo que hace que el enterramiento de la estructura regional se presente casi vertical.

Existen probablemente fallas de rumbo, paralelas entre sí, con movimiento dextral, que dislocan la estructura, la cual se alarga hacia el NE, donde se registran datos de estratificación con sentido de rumbo casi E-W, buzando hacia el E, pero con igual grado de inclinación, este rasgo estructural se da gracias a que el movimiento de las fallas ha creado que pequeños bloques se plieguen, con la presencia de sinformes o antiformes de menor tamaño dentro de la estructura regional.

1.5.3 Geología del Yacimiento. Las unidades más relevantes están constituidas por estratos de caliza, margas y shales o arcillolitas de colores variados y texturas regularmente homogéneas, con propiedades y composiciones aptas para la fabricación de cemento. Desde el punto de vista económico la mayor proporción del material calcáreo que integra la secuencia litológica constituye material apto para su aprovechamiento potencial en la producción de cemento y como usos en la industria de la construcción en general.

La secuencia calcárea varía entre 250 y 20 m de espesor y las unidades de margas y shales entre 200 y 15 m de potencia, las cuales sufren un notable adelgazamiento hacia los extremos norte y al sur del área.

2. ESTADO ACTUAL DE LA MINA

Actualmente la empresa ARGOS S.A concentra sus actividades en la extracción a cielo abierto de los materiales necesarios en la fabricación del cemento (caliza, margas y limolita), para llevar a cabo esta actividad se emplea el método de explotación por bancos descendentes en los diferentes frentes de explotación. Los trabajos mineros se concentran en dos frentes de explotación, Frente 1 y Frente 3, Ver Imagen 2 . El frente 2 se encuentra en estado de cierre y abandono ya que sus reservas fueron agotadas, Ver Imagen 3.

La cantera cuenta adicionalmente con un patio de pilas en el cual se acopian y se realizan las mezclas con los materiales (limolitas, marga gris y marga amarilla), para su posterior transporte a la trituradora. Ver Imagen 4.

Imagen 2. Bancos en Frente 1



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

Imagen 3. Limolitas en frente 3.



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

Imagen 4. Patio de pilas.



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

2.1 LABORES DE DESARROLLO

Como labores de desarrollo la cantera cuenta con aproximadamente 15 km de vías, que se encargan de comunicar los diferentes frentes de explotación con la planta de beneficio. Estas vías cuentan con pendientes de 4% a 8%, bermas de seguridad, cunetas para el drenaje de las aguas de escorrentías, y un ancho de 15 a 20 metros adecuado para la circulación de grandes camiones, Ver Imagen 5.

El mantenimiento de las mismas se realiza por medio de motoniveladora y bulldozer. Para su cuidado diario se utiliza un camión cisterna equipado con un sistema de riego, y se realiza una revisión constante por parte del supervisor en turno.

Imagen 5. Vías de la cantera



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

2.2 LABORES DE PREPARACIÓN

Las labores de preparación tienen como objetivo la elaboración de un bloque para su posterior explotación, actualmente en la cantera se están llevando a cabo varias de estas labores, principalmente en el frente 1 y frente 3.

Las labores llevadas a cabo en el frente 1, se concentran en el nivel 135 y nivel 70, en el primero se realiza el descapote de la capa vegetal por medio de bulldozer y se establecen las medidas con las cuales quedara el bloque de mineral para su posterior explotación. En el nivel 70 se prepara la zona por medio de motoniveladora la cual dejara una superficie adecuada para la operación del perforador. Este tipo de labores se desarrollan diariamente según los requerimientos por parte de planeamiento minero.

En el frente 3 se lleva a cabo el descapote de la capa vegetal, dejando al descubierto la limolita y formando bancos que delimitan el yacimiento, Ver Imagen 6.

Imagen 6. Labores de preparación Frente 3.



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

2.3 LABORES DE EXPLOTACIÓN

Las labores de explotación se llevan a cabo en el frente 1 y 3. En el frente 1 el método utilizado es el de banqueo descendente, la altura de los bancos varía de 9 a 15 metros de altura, siendo el nivel 130 el de menor altura y el nivel 70 la mayor.

Cada frente cuenta con una cara libre de 150 metros de longitud y un ancho de 60 metros para el cargue y tránsito de vehículos. El nivel 70 brinda una caliza de excelente calidad para la producción del cemento y actualmente presenta un retraso respecto a la planeación, por lo cual la explotación se concentra principalmente en este sector, Ver Imagen 7.

El arranque del material se realiza por medio de perforación y voladura. El esquema de perforación diseñado para las voladuras en la cantera es “tres bolillos”, siendo este el más efectivo ya que proporciona una mejor distribución de la energía del explosivo en la roca y permite una mayor flexibilidad en el diseño de la secuencia de encendido y dirección de salida del material.

En el frente 3 el método utilizado para la explotación de la limolita al igual que en frente 1, es por banqueo, pero se maneja un único banco de 10 metros de altura. El arranque del material se lleva a cabo de manera mecanizada por medio de bulldozer, el cual emplea el Ripper para penetrar el piso y soltar el material. Es apilado por medio de la hoja del equipo para su posterior cargue.

Imagen 7. Frente 1, Nivel 70



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

2.4 MAQUINARIA ACTUAL

Actualmente la cantera cuenta con un equipo especializado en minería a cielo abierto, que proporciona las facilidades para llevar a cabo cada operación de la cantera, desde la perforación del macizo rocoso, cargue del material explotado, transporte del mismo hacia la trituradora y finalmente la trituración del material extraído.

2.4.1 Equipo de perforación. Perforador Ingersoll-rand modelo ECM 720: El ECM 720 es un equipo flexible y versátil el cual cuenta con un sistema rotopercutivo con martillo en cabeza que transmite su energía hasta la broca de perforación por medio del varillaje. Este equipo perfora barrenos hasta los 29 metros de profundidad, con diámetros que varían de 4" a 6" (102-152mm) y está montado sobre orugas alcanzando una velocidad de 3.2 km/h, Ver Imagen 8.

Para evacuar el detrito producto de la perforación el equipo cuenta con captadores de polvo que realizan el barrido del barreno inyectando aire comprimido, es un equipo muy seguro y con alta tecnología.

Cuenta con una cabina especial que reduce el sonido y las vibraciones para el operador. Todas las funciones de taladrado se monitorean electrónicamente y se ajustan para optimizar la rectitud del barreno y la velocidad de perforación.

Los principales accesorios que utiliza este equipo para su funcionamiento son; varillas de perforación, acoples y brocas. Los rendimientos del equipo varían dependiendo del tipo de material que se desee perforar.

Imagen 8. Perforador Atlas Copco ECM 720.



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

2.4.2 Equipos de arranque. Bulldozer Komatsu D275A, D275AX: Este tipo de equipos tienen una gran variedad de usos dentro de la cantera, la actividad principal es la de arrancar o remover los materiales de los frentes de explotación utilizando el Ripper y por medio de la hoja de arrastre, concentrar el material en un punto específico para el cargue del mismo. Se requiere cuando la voladura es consumida aproximadamente en un 50% y los materiales de los frentes se encuentran duros y es difícil su penetración por medio de los cargadores. En la

limolita y las margas debido a la ausencia de voladura su función es la de arrancar los materiales de los bancos y concentrarlos en pilas.

Estos equipos cuentan con 3 velocidades en avance y 3 en retroceso llegando a alcanzar una máxima velocidad de 14.9 km/h en reversa y 11.2 km/h en avance, Ver Tabla 3.

El rendimiento del equipo es de 250 ton/hora. Este dato puede variar respecto al material que se esté removiendo. Ver Imagen 9.

Tabla 3. Velocidades del Bulldozer 275A

VELOCIDADES DE DESPLAZAMIENTO	MARCHA ADELANTE	MARCHA ATRAS
1 ^a	3.6 km/h	4.7 km/h
2 ^a	6.7 km/h	8.7 km/h
3 ^a	11.2 km/h	14.9 km/h

Fuente. Manual Komatsu D275AX. 2017.

Imagen 9. Bulldozer Komatsu D275AX



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

2.4.3 Equipos de Cargue. Cargador frontal Komatsut WA 600: Actualmente la cantera cuenta con dos cargadores frontales modelo WA 600 marca Komatsut (WA600-1, WA600-10) los cuales se encargan de todas las operaciones de cargue en los diferentes frentes de explotación. Estos equipos se encuentran en muy buen estado y brindan confiabilidad a la hora del cargue, Ver Imagen 10.

En el cargue de cada camión el equipo realiza de 4 a 6 ciclos que consta de penetración del frente, posicionamiento sobre el camión y descargue del material; la capacidad del cucharón es de 6.4 m³ y puede manejar cuatro velocidades, tanto en avance como en retroceso. Estos equipos se encuentran montado sobre neumáticos lo que facilita el traslado a cualquier punto de la cantera, Ver tabla 4.

Tabla 4. Velocidades Komatsut WA600

Marcha	1	2	3	4
Adelante	6.7 Km/h	11.7 Km/h	20.3 Km/h	33.8 Km/h
Con embriague de bloqueo		12.4	21.7 Km/h	37.7 Km/h
Atrás	7.3 Km/h	12.8 Km/h	22.0 Km/h	37.0 Km/h

Fuente. Manual Komatsut WA600. 2017

Imagen 10. Cargador Komatsut WA 600



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

2.4.4 Equipos de transporte. Para llevar a cabo el transporte de los materiales desde los diferentes frentes de explotación hasta la trituradora o puntos de acopio, se cuenta con una flota de 4 camiones mineros; dos Caterpillar 773G, un 773F y Dresser 210MM.

Camión minero Caterpillar 773GY 773F: La cantera cuenta con tres equipos Caterpillar 773, dos de la serie G y uno de la serie F, los cuales pueden transportar 35 m³ de material y un peso de 55.3 toneladas. Ver Tabla 5. La función principal es la de alimentar la trituradora con los diferentes materiales extraídos,

transporte de margas y limolita para el patio de pilas y transporte de material hacia los botaderos.

Estos equipos tienen una disponibilidad superior al 80% ya que son camiones con menos de 2000 horas de trabajo y pueden alcanzar velocidades de 66.9 km/h cuando se encuentran cargados, pero dentro de los reglamentos internos de la cantera no se debe exceder de 40 km/h, Ver Imagen 11.

El ciclo que cumple para alimentar la tolva de la trituradora es: El traslado hacia el frente de explotación, estacionamiento en el sitio de cargue, transporte del material hasta la trituradora y finaliza el descargue.

Tabla 5. Especificaciones técnicas Caterpillar 773G

Modelo del motor	C27 ACER Cat
Velocidad nominal del motor	1800.0 rpm
Cilindraje	27.0 L
Peso bruto máximo del vehículo	102740 Kg
Carga útil nominal	55.3 toneladas métricas
Capacidad de la caja	35 m ³
Velocidad máxima	66.9 km/h
Tiempo de levantamiento de la caja	10 segundos
Tiempo de bajada de la caja	14 segundos
Tanque de combustible	795 L
Diámetro de giro: delantero	23.5 m
Diámetro de giro de espacio libre	26.1 m

Fuente. Catálogo de productos Caterpillar www.cat.com. 2017.

Imagen 11. Camión minero Caterpillar 773GY 773F



Fuente. Autor del proyecto, 2017

Dresser 210MM: Actualmente este equipo no se utiliza en las labores diarias de la cantera, solo en ocasiones especiales donde se requiera debido a su uso (37000 horas).

Este equipo cuenta con características similares a los Caterpillar 773, tiene una capacidad para transportar 33.7 m^3 de material y un peso de 50 toneladas, Ver Imagen 12.

Imagen 12. Camión Dresser 210MM



Fuente. Es.mascus.com/Dresser210mm

2.4.5 Otros equipos de la cantera. Para llevar a cabo las operaciones mineras en la cantera se hace necesaria la participación de otra serie de equipos, como la motoniveladora y el camión de riego.

Motoniveladora Caterpillar 120G: Este equipo tiene como función principal mantener las vías de la cantera en perfecto estado, trabajos de nivelación de terrenos y conservar las cunetas de drenaje de las vías.

Para llevar a cabo las tareas anteriormente descritas la maquina cuenta con una gran hoja de 3.7 metros de longitud que se encuentre ubicada detrás del eje delantero del equipo, esta hoja es la encargada de nivelar los terrenos, Ver Imagen 13.

Imagen 13. Motoniveladora Caterpillar 120G



Fuente. www.turetro.com/motoniveladora120g

Camión de riego, Navitrans workstar 7600: La empresa Argos dentro de sus políticas ambientales, tiene como objetivo la disminución del material particulado generado en la cantera. Como medida para enfrentar esta situación se cuenta con un camión de riego equipado con un tanque para el almacenamiento de agua con una capacidad de 4000 galones y un avanzado sistema de aspersores para el riego de las vías, además cuenta con un sistema contra incendio que consta de una bomba y un conjunto de mangueras utilizados en incendios forestales y conatos que se presenten al interior de las instalaciones de la planta.

Actualmente el equipo que presta este servicio es un internacional workstar 7600, tipo camión de doble tracción, el cual ofrece unas excelentes características para el trabajo de riego de las vías debido a su tamaño y el equipamiento, Ver Imagen 14.

Imagen 14. Camión de riego



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

2.4.6 Trituradora Laron: El proceso en la cantera finaliza con el transporte hasta la trituradora, la cual es la encargada de recibir materiales de hasta 100cm de arista y los entrega en el salón de materiales con una granulometría máxima de 1 pulgada. Para llevar a cabo la trituración de los materiales este equipo cuenta con una serie de martillos fijados sobre un rotor y una serie de tamices, Ver Tabla 6, Ver Ilustración 4

El rendimiento de esta máquina varía dependiendo las condiciones en las que llega el material; entre más seco es el material mayor es el rendimiento de la trituradora.

Tabla 6. Característica trituradora Laron

Marca	LARON
Modelo	LAU IM 16R
Tipo	MARTILLO
Capacidad	400 – 700 TPH
Dimensión entrada	2320 x 1700 mm
Roca Máx admitida	3000 kg
Potencia	530 – 735 KW
Velocidad del rotor	350,4 rpm
Velocidad periférica	35,7 m/s
Ancho del rotor	2180 mm
Diámetro vatímetro de barras	1950 mm
Diámetro eje principal	380 mm
Longitud eje principal	4315 mm
Diámetro primario polea volante	1500 mm
Número de canales	17 tipo D
Material	Áridos

Fuente. Datos de estudio, 2017.

Ilustración 4. Trituradora Laron



Fuente. Datos de estudio autor, 2017.

2.5 PRODUCCION DE LA CANTERA

Como método de medición del cumplimiento con las políticas de sostenibilidad Argos, fija metas anuales, mensuales y diarias en cada una de sus áreas de trabajo, para ello se utilizan indicadores de producción, calidad, entre otros. En el cumplimiento de estas medidas para el proceso de canteras y trituración se cuentan con indicadores de producción los cuales se deben cumplir a diario.

Actualmente el proceso de cantera y trituración cuenta con dos turnos de trabajo diarios; lunes a sábado de 7:00-15:00, 15:00-23:00. Para cada uno de estos turnos se tiene una meta de 2000 toneladas/turno de material triturado entre caliza y mezcla, no se cuenta con una programación fija para la trituración de un material específico. El material a triturar se selecciona dependiendo de los requerimientos de la planta o las condiciones que al momento de iniciar el turno se presenten en la cantera y salón de materiales.

3. CICLOS ACTUALES DE CARGUE Y TRANSPORTE

Dentro de las operaciones actuales de la cantera se hace necesario el transporte de materiales desde los frentes de explotación hacia la trituradora y patio de pilas y el transporte de mezcla desde el patio de pilas a la trituradora. A continuación, se mencionan los ciclos llevados a cabo en la cantera:

- Frente 3(limolita)-patio de pilas
- Frente 1(Marga amarilla)-patio de pilas
- Frente 1(marga gris-patio de pilas)
- Frente 1(Caliza)-trituradora
- Patio de pilas(mezcla)-trituradora

3.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES TRANSPORTADOS DENTRO DE LA CANTERA

En las operaciones diarias llevadas a cabo en la cantera se realiza el transporte de cuatro materiales principales en la fabricación del cemento (caliza, marga amarilla, marga gris y limolita).

Caliza: La caliza se puede encontrar en diferentes puntos de la cantera como Frente 1 y Frente 3, las están caracterizadas por parte del equipo de materias primas de la planta. Actualmente solo se hace uso del frente 1 para la obtención de la caliza, ya que frente 3 se encuentra a mayor distancia de la trituradora y las calidades son menores.

Marga (amarilla y gris): Materias primas mediante estudios de caracterización delimito una zona en la parte norte del frente 1, en la cual se extrae estos dos materiales por medio de bulldozer. Estas se utilizan para hacer las mezclas que remplazan la arcilla en la fabricación del cemento.

Limolita: En el caso de la limolita se encuentran grandes reservas en una zona del frente 3.

Los frentes de explotación se encuentran ubicados de la siguiente manera (Ver Ilustración 5).

F1: frente 1

F2: frente 2
PP: patio de pilas
F3: frente 3

Ilustración 5. Ubicación de los frentes de explotación.



Fuente. Modificada por el autor 2017. Fotografía aérea tomada de Google maps.www.googlemaps.com

3.1.1 Distancia desde los diferentes frentes y patio de pilas hasta la trituradora: La cantera cuenta principalmente con 3 frentes de explotación de los cuales solo en dos se realizan trabajos actualmente, siendo frente 3 el más distante de la trituradora y el frente 1 el más próximo a la misma.

A continuación, se presenta las diferentes distancias desde cada frente a la trituradora, Ver tabla 7.

Tabla 7. Recorridos frentes de explotación, patio de pilas-trituradora

RECORRIDO	TRITURADOR A-FRENTE (m)	FRENTE- TRITURADORA (m)	TOTAL (m)
Trituradora - Nivel 70, F1	1190	1190	2380
Trituradora - Nivel 80, F1	845	1020	1865
Trituradora- Nivel 90 F1	950	1155	2105
Patio de Pilas- F3	5000	5000	10000
Trituradora- PP	750	750	1500

Fuente. Datos de estudio, 2017.

Trituradora- Nivel 70, Frente 1: Este ciclo de transporte se lleva a cabo partiendo de la trituradora hacia el frente1, nivel 70, por la vía en doble sentido de color rojo, Ver ilustración 6,, la cual es usada para acceder al frente y como vía de retorno.

Ilustración 6. F1, nivel 70-trituradora



Fuente. Modificada por el autor 2017. Fotografía aérea tomada de Google maps.www.googlemaps.com

Triturado-Nivel 80, Frente 1: Como vía de acceso al frente 1, nivel 80 se recorre una vía en un solo sentido (línea negra) y como vía de retorno para los camiones cargados una de mayor longitud con menores pendientes, línea azul. Ver Ilustración 7.

Ilustración 7. F1, nivel 80-trituradora.



Fuente. Modificada por el autor 2017. Fotografía aérea tomada de Google maps.www.googlemaps.

Trituradora-Nivel 900, Frente 1: Para llevar a cabo este ciclo se cuenta con dos vías; una de acceso al frente de explotación, línea negra y otra para el retorno hacia la trituradora, línea azul. Ver Ilustración 8.

Ilustración 8. F1, nivel 90-trituradora



Fuente. Modificada por el autor 2017. Fotografía aérea tomada de Google maps.www.googlemaps.

Patio de Pilas- Frente 3: Este recorrido se realiza en vía doble sentido y su frecuencia es intermitente y depende de los requerimientos del salón de materiales.

A pesar de la gran longitud de la vía para este ciclo, no se presentan opciones viables para su optimización debido a que su trazado se encuentra delimitado por zonas de compensación ambiental evitando así su modificación.

Trituradora- Patio de Pilas: El transporte de la mezcla se realiza mediante una vía en doble sentido desde la trituradora hasta el patio donde se encuentran los diferentes materiales (Margas y limolita), Ver Ilustración 9.

Ilustración 9. Patio de pilas-trituradora



Fuente. Modificada por el autor 2017. Fotografía aérea tomada de Google maps.www.googlemaps.

3.2 EVALUACION INICIAL DE LOS CICLOS DE CARGUE Y TRANSPORTE DE MATERIAL

Como punto inicial para llevar a cabo la investigación de los problemas o factores que afectan el ciclo de cargue y transporte de cada uno de los materiales, se lleva a cabo una descripción de los trabajos realizados dentro del ciclo y se analiza el tiempo empleado en cada etapa. A continuación se describen los dos ciclos de transporte de materiales principales que se llevan a cabo en la cantera, Caliza y Mezclas. .

3.2.1 Ciclo de transporte de caliza: El ciclo de transporte de caliza es el más importante dentro de las operaciones de la cantera, ya que este es el material

principal para la producción de cemento debido a su contenido de carbonato de calcio.

El ciclo de transporte de caliza se lleva a cabo actualmente desde la trituradora hacia el frente 1, en el cual se encuentran una serie de niveles de explotación. La operación se concentra principalmente en el nivel 70, 80 y 90, Ver Imagen 15.

Imagen 15. Cargue de caliza.



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

3.2.2 Ciclo de transporte de mezclas: Actualmente el ciclo de transporte de mezcla se realiza desde la trituradora hasta el patio de pilas.

Las proporciones de cada material a cargar se establecen desde el salón de materiales según la calidad que se requiera y la mezcla se realiza en el camión.

Previamente al transporte de la mezcla hacia la trituradora, se debe contar con tres pilas de material acopiado, las cuales se crean transportando la limolita desde el frente 3 y las margas desde frente 1 hasta este punto. Estos últimos ciclos no se tienen en cuenta en el proyecto debido a que se realizan mínimos recorridos, siendo poco representativos en la operación de la cantera, Ver Imagen 16.

Imagen 16. Cargue y descargue de mezclas.



Fuente. Autor del proyecto, 2017.

3.2.3 Tiempos programados para los ciclos: La empresa ha programado unos tiempos para cada ciclo como una base para evaluar el rendimiento de estas operaciones.

Los cálculos de estos tiempos pueden variar respecto a los reales, ya que se toman velocidades constantes durante todo el recorrido del equipo y no se tiene en cuenta el estado de la vía, el entrenamiento del operador tanto del equipo de cargue, como del camión.

- Velocidad vacío: 38 km/h
- Velocidad cargado 35 km/h

Tabla 8. Tiempos programados para los ciclos. (min: seg)

CICLO	TTF	TPZC	TCC	TFT	TPT	TDT	TC
Trituradora - Nivel 70, F1	1:53	0:35	2:56	2:02	0:34	0:33	8:33
Trituradora - Nivel 80, F1	1:20	0:35	2:56	1:45	0:34	0:33	7:43
Trituradora- Nivel 90 F1	1:30	0:35	2:56	1:59	0:34	0:33	8:07
Trituradora-Patio de pilas	1:11	0:35	2:56	1:14	0:34	0:33	7:06

TTF: Tiempo trituradora frente; TPZC: Tiempo posicionamiento zona de cargue; TCC: Tiempo cargue del camión; TFT: Tiempo frente trituradora; TPT: Tiempo posicionamiento trituradora; TDT: Tiempo descarga trituradora; TC: Total ciclo.

Fuente. Datos de estudio, 2017.

3.2.4 Rendimientos del ciclo de transporte: Para llevar a cabo el cálculo de los rendimientos del ciclo de transporte tenemos en cuenta las horas de trabajo reales que se cumplen en cada turno.

Los tiempos de paros programados son de 1.5 horas por turno. Ver Tabla 9 y 10.

Tabla 9. Paros programados

ACTIVIDAD	DURACION (HORA)
Cambio de turno	0.5
Alimentación de personal	0.5
Minuto de salud, revisión y tanqueo de maquinaria	0.5
TOTAL	1.5

Fuente. Datos de estudio, 2017.

Tabla 10. Horas del turno.

ACTIVIDAD	DURACIÓN (HORA)
Paros programados	1.5
Trabajo	6.5
TOTAL	8

Fuente. Datos de estudio, 2017.

Teniendo como base el tiempo del ciclo de transporte podemos calcular las diferentes productividades del sistema:

- Producción teórica: para llevar a cabo el cálculo de este índice se utiliza la ecuación 1.
- Eficiencia estimada: es la relación entre las horas de trabajo reales del turno y las horas programadas, el cálculo de la eficiencia se realizará por medio de la ecuación 2.
- Producción real: esta producción viene dada por el número de ciclos que se llevan a cabo durante un turno. Para su cálculo se utilizará la ecuación 3.
- Rendimiento teórico: este es el rendimiento esperado de la operación, para su cálculo se hace necesario el rendimiento teórico y el tiempo efectivo de trabajo, se calculará con la ecuación 4.
- Rendimiento real: es el rendimiento que presentan los ciclos de transporte actualmente en la cantera. Ecuación 5.

Producción teórica

$$Producción\ teórica\ (ton) = \frac{Tt * Cc * Ee}{Tc} \quad (1)$$

Tt : Tiempo teórico de trabajo en el turno¹ (horas)

Cc : Capacidad del camión minero (ton)

Ee : Factor de eficiencia Estimada (adimensional)

Tc : Tiempo del ciclo (horas)

Eficiencia estimada

$$Eficiencia\ estimada = \frac{Tr}{Tt} \quad (2)$$

Tr : Tiempo real²(horas)

Tt : Tiempo teórico (horas)

Producción real

$$Producción\ real\ (ton) : Nc * Cc \quad (3)$$

Nc : Numero de ciclos

Cc : Capacidad del camión (ton)

Rendimiento teórico

$$Rendimiento\ teórico\ \left(\frac{ton}{h}\right) = \left(\frac{Pt}{Tt}\right) \quad (4)$$

Pt : Producción teórica (ton)

Tt : Tiempo teorico de trabajo (horas)

¹ Tiempo teórico corresponde a las horas totales del turno menos los tiempos de paros programados.

² Tiempo real corresponde al registro de los horómetros de cada equipo

Rendimiento real

$$\text{Rendimiento real} \left(\frac{\text{ton}}{h} \right) = \left(\frac{Pr}{Tr} \right) \quad (5)$$

Pr: Producción real (ton)

Tr: Tiempo real (horas)

3.2.5 Tiempos reales de los ciclos: A continuación, se registran los datos tomados en campo de los diferentes ciclos de transporte.

Trituradora - Nivel 70, Frente 1, Ver Tabla 11, Anexo C.

Fecha: 12-septiembre-2016

Horómetro inicial: 802.9

Horómetro final: 808.7

Horas reales trabajadas, turno A: 5.8 Horas

Numero de ciclos en el turno: 22

Tabla 11. Tiempos del ciclo Trituradora - Nivel 70, Frente 1,

CICLO	TTF min:seg	TPZC min:seg	TCC min:seg	TFT min:seg	TPT min:seg	TDI min:seg	TMC min:seg	TMT min:seg	TC min:seg
1	2:25	0:44	3:00	2:30	0:43	0:35			9:57
2	2:41	0:47	2:44	2:40	0:40	0:34			10:06
3	2:25	0:43	2:56	2:41	0:41	0:35	3:16		13:17
4	2:39	0:50	3:00	2:32	0:36	0:37			10:14
5	2:24	0:42	2:50	3:19	0:40	0:31			10:26
6	2:23	1:00	3:23	3:08	0:35	0:33	2:34		13:36
7	2:27	0:47	3:12	3:02	0:36	0:33			10:37
8	2:32	0:39	3:06	2:52	0:38	0:31			10:18
9	2:36	0:42	2:55	2:55	0:34	0:36	0:20		10:38
10	2:28	0:38	3:02	3:12	0:42	0:34			10:36
PROMEDIO	2:30	0:45	3:01	2:53	0:38	0:34			10:59

TTF: Tiempo trituradora frente; TPZC: Tiempo posicionamiento zona de cargue; TCC: Tiempo cargue del camión; TFT: Tiempo frente trituradora; TPT: Tiempo posicionamiento trituradora; TDI: Tiempo descarga trituradora; TC: Total ciclo; TMC: Tiempo Muerto en el Cargue; TMT: Tiempo Muerto en la trituradora.

Fuente. Datos de estudio, 2017.

- Eficiencia estimada $\frac{5.8 h}{6.5 h} = 0.89$
- Producción teórica $\frac{6.5h*50ton*0.89}{0.18h} = 1607 \text{ ton}$
- Producción real $22 * 50ton = 1100 \text{ ton}$
- Rendimiento teórico $\left(\frac{1607ton}{6.5h}\right) = 247 \frac{\text{ton}}{\text{hora}}$
- Rendimiento real $\left(\frac{1100ton}{5.8h}\right) = 190 \frac{\text{ton}}{\text{hora}}$

Al comparar el rendimiento teórico con el rendimiento real, podemos observar que la producción actualmente no es la esperada por parte de la empresa, debido a diversos factores como los tiempos improductivos durante las horas de trabajo del personal.

Los tiempos muertos en el ciclo se evidencian principalmente en la zona de cargue y descargue de los materiales, además en demoras del tránsito debido a algunos obstáculos en las vías; por este motivo más adelante se plantearán una serie de mejoras que contribuyan a la reducción de estos tiempos.

Trituradora-Nivel 80, Frente 1, Ver Tabla 12, Anexo D.

Fecha: 05-septiembre-2016

Horómetro inicial: 13203.1

Horómetro final: 13209

Horas reales trabajadas, turno A: 5.9 Horas

Numero de ciclos en el turno: 25

Tabla 12. Tiempos del ciclo frente 1, nivel 80 – trituradora

CICLO	TTF min:seg	TPZC min:seg	TCC min:seg	TFT min:seg	TPT min:seg	TDI min:seg	TMC min:seg	TMT min:seg	TC min:seg
1	1:45	0:32	3:05	2:03	0:28	0:31		0:56	9:20
2	1:50	0:29	2:42	2:25	0:27	0:32	1:00	2:00	11:25
3	1:50	0:45	3:09	2:26	0:30	0:34		0:48	10:02
4	1:45	0:46	2:30	2:23	0:28	0:35		1:00	9:27
5	1:45	0:35	3:00	1:57	0:29	0:36	0:50	0:57	10:09
6	1:47	0:38	2:50	2:19	0:28	0:36	0:42	1:55	11:15
7	1:50	0:35	2:43	2:12	0:30	0:33		0:47	9:10
8	1:44	0:31	2:37	2:21	0:33	0:34		0:52	9:12
9	1:42	0:42	2:53	2:10	0:31	0:32		0:45	9:15
10	1:48	0:36	2:40	2:22	0:30	0:35	0:20	1:02	9:53
PROMEDIO	1:47	0:37	2:49	2:16	0:29	0:34			9:55

TTF: Tiempo trituradora frente; TPZC: Tiempo posicionamiento zona de cargue; TCC: Tiempo cargue del camión; TFT: Tiempo frente trituradora; TPT: Tiempo posicionamiento trituradora; TDI: Tiempo descarga trituradora; TC: Total ciclo; TMC: Tiempo Muerto en el Cargue; TMT: Tiempo Muerto en la trituradora.

Fuente. Datos de estudio, 2017.

➤ Eficiencia estimada $\frac{5.9 h}{6.5 h} = 0.91$

➤ Producción teórica $\frac{6.5h \cdot 50ton \cdot 0.91}{0.16h} = 1848 \text{ ton}$

➤ Producción real $25 * 50ton = 1250 \text{ ton}$

➤ Rendimiento teórico $\left(\frac{1848ton}{6.5h} \right) = 284 \frac{ton}{hora}$

➤ Rendimiento real $\left(\frac{1250ton}{5.9h} \right) = 212 \frac{ton}{hora}$

En este ciclo se hace evidente el tiempo muerto en la descarga del material en la trituradora, y la vía de retorno del frente a la trituradora se lleva a cabo por una vía de mayor longitud lo cual genera mayores tiempos.

Trituradora-Nivel 90, Frente 1, Ver Tabla 13, Anexo E.

Fecha: 11-octubre-2016

Horómetro inicial: 10887.5

Horómetro final: 10893.5

Horas reales trabajadas, turno A: 6 Horas

Numero de ciclos en el turno: 23

Tabla 13. Tiempos del ciclo frente 1, nivel 90 – trituradora

CICLO	TTF min:seg	TPZC min:seg	TCC min:seg	TFT min:seg	TPT min:seg	TDT min:seg	TMC min:seg	TMT min:seg	TC min:seg
1	2:54	0:40	3:32	3:02	0:22	0:29		0:19	11:18
2	2:58	0:38	3:10	3:06	0:35	0:37	0:47		11:51
3	2:45	0:41	3:15	2:56	0:33	0:31			10:41
4	2:48	0:27	3:06	2:40	0:32	0:33		0:27	10:33
5	2:50	0:31	3:13	2:50	0:40	0:36	0:28		11:08
6	2:47	0:36	3:18	3:11	0:35	0:29		0:10	11:06
7	3:06	0:30	3:25	3:07	0:28	0:31			11:07
8	2:43	0:28	3:21	3:14	0:26	0:38		0:15	11:05
9	2:38	0:26	2:56	3:00	0:34	0:28			10:02
10	2:55	0:34	3:02	3:17	0:25	0:30	0:15		10:58
PROMEDIO	2:50	0:33	3:14	3:02	0:31	0:32			10:59

TTF: Tiempo trituradora frente; TPZC: Tiempo posicionamiento zona de cargue; TCC: Tiempo cargue del camión; TFT: Tiempo frente trituradora; TPT: Tiempo posicionamiento trituradora; TDT: Tiempo descarga trituradora; TC: Total ciclo; TMC: Tiempo Muerto en el Cargue; TMT: Tiempo Muerto en la trituradora.

Fuente. Datos de estudio. 2017

➤ Eficiencia estimada $\frac{6h}{6.5h} = 0.92$

➤ Producción teórica $\frac{6.5h \cdot 50ton \cdot 0.92}{0.18h} = 1661 \text{ ton}$

➤ Producción real $23 * 50ton = 1150 \text{ ton}$

➤ Rendimiento teórico $\left(\frac{1661ton}{6.5h} \right) = 256 \frac{ton}{hora}$

➤ Rendimiento real $\left(\frac{1150\text{ton}}{6h}\right) = 192 \frac{\text{ton}}{\text{hora}}$

Los tiempos registrados en este ciclo se ven afectados por la ruta que se toma para el acceso al nivel, y malas condiciones para llevar a cabo el cargue del camión lo que ocasiona mayores tiempos en esta operación.

Trituradora-Patio de Pilas, Ver tabla 14, Anexo F.

Fecha: 11-octubre-2016

Horómetro inicial: 10887.5

Horómetro final: 10893.5

Horas reales trabajadas, turno A: 6 Horas

Numero de ciclos en el turno: 18

Tabla 14. Tiempos del ciclo patio de pilas – trituradora

CICLO	TTF min:seg	TPZC min:seg	TCC min:seg	TFT min:seg	TPT min:seg	TDT min:seg	TMC min:seg	TMT min:seg	TC min:seg
1	1:18	0:25	2:35	1:29	0:31	0:32		7:47	14:37
2	1:22	0:26	2:15	1:31	0:38	0:33		7:12	13:57
3	1:30	0:18	2:17	1:41	0:45	0:34		5:40	12:45
4	1:28	0:13	2:19	1:35	0:44	0:35		9:10	16:04
5	1:29	0:24	2:47	1:37	0:30	0:34		5:40	13:01
6	1:27	0:30	3:03	1:43	0:39	0:30		6:13	14:05
7	1:24	0:26	2:27	1:30	0:37	0:31		7:05	14:00
8	1:26	0:31	2:33	1:27	0:33	0:33		6:22	13:25
9	1:19	0:22	2:42	1:35	0:41	0:35		8:30	15:44
10	1:22	0:27	2:23	1:32	0:36	0:31		7:08	13:59
PROMEDIO	1:24	0:24	2:32	1:34	0:37	0:33		7:05	14:10

TTF: Tiempo trituradora frente; TPZC: Tiempo posicionamiento zona de cargue; TCC: Tiempo cargue del camión; TFT: Tiempo frente trituradora; TPT: Tiempo posicionamiento trituradora; TDT: Tiempo descarga trituradora; TC: Total ciclo; TMC: Tiempo Muerto en el Cargue; TMT: Tiempo Muerto en la trituradora.

Fuente. Datos de estudio. 2017

➤ Eficiencia estimada $\frac{6h}{6.5h} = 0.92$

- Producción teórica $\frac{6.5h * 50ton * 0.92}{0.23h} = 1300 \text{ ton}$
- Producción real $18 * 50ton = 900 \text{ ton}$
- Rendimiento teórico $\left(\frac{1300ton}{6.5h}\right) = 200 \frac{ton}{hora}$
- Rendimiento real $\left(\frac{900ton}{6h}\right) = 150 \frac{ton}{hora}$

En el ciclo de transporte de mezcla desde el patio de pilas hasta la trituradora, podemos observar un tiempo muerto significativo en la descarga de los camiones en la trituradora, este ciclo se tomó con dos camiones en operación.

3.2.6 Análisis de los ciclos. Como resultado final del análisis de cada uno de los ciclos de transporte podemos observar que ningún ciclo cumple con los tiempos programados en la tabla 8. Los tiempos registrados en campo difieren del planteado por parte de la empresa debido a condiciones de la vía, entrenamiento de cada uno de los operadores, condiciones climáticas y estado de las zonas de cargue.

Al hacer un análisis de los datos registrados en campo, se observan dos etapas del ciclo, zona de cargue y descargue del material en la trituradora, en las que se generan tiempos muertos en la operación, los cuales se entraran a analizar para eliminarlos.

Al comparar los tiempos registrados en campo con los programados podemos establecer la variación del mismo por medio de la ecuación 6.

Variación del tiempo programado con respecto al real : (VTpr)

$$(VTpr) = \frac{Tr - Tp}{Tp} * 100 \quad (6)$$

Tr: Tiempo programado para el ciclo

Tp: Tiempo real registrado en campo

➤ **Nivel 70**

El ciclo de transporte de material desde el nivel 70, hasta la trituradora actualmente se lleva a cabo con un 28% de tiempos adicionales a lo programado por parte de la empresa. Este porcentaje se da debido a un mayor tiempo en el traslado del camión minero desde la trituradora, hasta el frente de explotación y viceversa debido a las condiciones de la vía. La medición de este ciclo se llevó a cabo con dos camiones en operación y no se registraron tiempos muertos significativos, por lo cual la forma correcta de optimizar el ciclo es la apertura de una nueva vía, con recorridos más cortos, generando un ciclo más eficiente con los mismos equipos en operación.

$$(VT_{pr}) = \frac{10.97 - 8.54}{8.54} * 100 = 28\%$$

➤ **Nivel 80**

El tiempo del ciclo de transporte desde la trituradora hasta el frente 1, nivel 80, actualmente presenta un exceso del 29% respecto al tiempo programado por la empresa, debido a la espera de los camiones para la descarga en la trituradora generando el 18% del tiempo de exceso. El tiempo muerto generado en la trituradora es debido al desgaste de los martillos encargados de llevar a cabo la fragmentación del material, generando una recirculación del mismo y disminuyendo el rendimiento del equipo. La medición de los tiempos se llevó a cabo con dos camiones en operación y un cargador frontal. Como medida para la optimización del ciclo se recomienda mantener la trituradora en excelentes condiciones lo cual disminuiría notablemente el tiempo de espera de los camiones para su descarga y una vía nueva de retorno para los camiones cargados.

$$(VT_{pr}) = \frac{9.91 - 7.71}{7.71} * 100 = 29\%$$

➤ **Nivel 90**

Actualmente el ciclo de transporte de caliza desde el nivel 90 hacia la trituradora presenta un 35% de tiempos de exceso respecto al programado por la empresa, debido a dos factores fundamentales; el primero es el mal estado de la vía que se usa para el acceso al frente y la longitud de la vía que se usa como retorno a la trituradora.

Teniendo como base lo anterior, se plantea el mantenimiento de la vía de acceso al frente, la cual no brinda excelentes condiciones para el tránsito de los camiones

y una nueva vía de transporte para el tránsito de los camiones cargados con material la cual será compartida con el nivel 80 y los niveles superiores.

$$(VT_{pr}) = \frac{10.97 - 8.11}{8.11} * 100 = 35\%$$

➤ **Patio de pilas**

El ciclo de transporte de mezcla actualmente presenta un exceso de tiempo del 100% respecto al tiempo programado por la empresa, lo que significa que para llevar a cabo el ciclo se está empleando el doble del tiempo. Actualmente cuando se lleva a cabo la trituración de mezcla, se utilizan dos camiones para el acarreo del material, lo que genera tiempos muertos en la espera del turno para la descarga en la trituradora, este ciclo se realiza en poco tiempo debido a la cercanía del patio de pilas con la trituradora. La vía utilizada para el acarreo se encuentra en óptimas condiciones. Para la optimización del ciclo se propone la disminución a un camión para llevar a cabo el acarreo del material.

$$(VT_{pr}) = \frac{14.17 - 7.09}{7.09} * 100 = 100\%$$

Al llevar a cabo el ciclo de transporte con un solo camión se tendrá la siguiente producción teórica.

➤ **Producción teórica**

$$P_t = \frac{6.5h * 50ton * 0.92}{0.12h} = 2491 \text{ Ton}$$

Que al ser comparada con la producción teórica al llevar a cabo el ciclo con dos camiones obtenemos 1191 ton más por cada camión.

4. OPTIMIZACIÓN DE LOS CICLOS DE TRANSPORTE

El objetivo principal de llevar a cabo el presente proyecto es la optimización de los ciclos de transporte en las instalaciones de la cantera de la cementera ARGOS. Inicialmente se hizo un análisis de las condiciones actuales que presentan cada uno de los ciclos de transporte de material (caliza y mezcla). El paso siguiente es el planteamiento de propuestas que generen una disminución en los tiempos de los ciclos y mejoren los rendimientos de los equipos, el objetivo fundamental de la empresa es buscar los mejores índices de productividad con los recursos que se tienen actualmente.

4.1 DISEÑO DE VÍA (NIVEL 70)

Con el diseño de una vía propuesta para el tránsito de los camiones desde la trituradora hacia el frente 1, nivel 70 y viceversa, se busca disminuir la distancia que tienen que transitar los camiones para llevar a cabo el ciclo, actualmente la vía usada para el acarreo del material tiene una longitud de 1190 metros, con un ancho entre 20 y 30 metros, esta vía se utiliza para acceder al frente y de retorno a la trituradora.

Para llevar a cabo la construcción de la vía se hace necesario una serie de maquinaria entre la que se encuentra: bulldozer, motoniveladora, camiones, cargadores, entre otros. Todos los equipos necesarios en la ejecución de la obra se encuentran disponibles dentro de la cantera, al igual que los operadores de cada uno de estos equipos.

Para llevar a cabo el diseño de una vía se debe tener en cuenta muchas variables, como lo son; dimensiones de los vehículos a transitar, velocidad permitida, berma, ancho, bombeo, cuneta entre otros.

4.1.1 Longitud: La vía contara con una longitud de 490 metros y se encargara de comunicar frente 1, nivel 70, con la tolva de alimentación de la trituradora Laron. (Ver anexo B). El punto de inicio para el trazado de la vía es la trituradora y como punto final el frente de explotación, Ver ilustración 10.

Ilustración 10. Nueva vía de transporte F1, nivel 70-trituradora



Fuente. Fuente. Modificada por el autor 2017. Fotografía aérea tomada de Google maps.www.googlemaps.com

4.1.2 Ancho: La vía debe conservar un ancho mínimo de $3 \frac{1}{2}$ el ancho del vehículo de mayor capacidad que transite por la mina. El ancho de las vías que se recomienda puede estimarse con la siguiente expresión:

$$A = a(0.5 + 1.5n)$$

A : Ancho de la vía (m)

a : Ancho del vehículo (m)

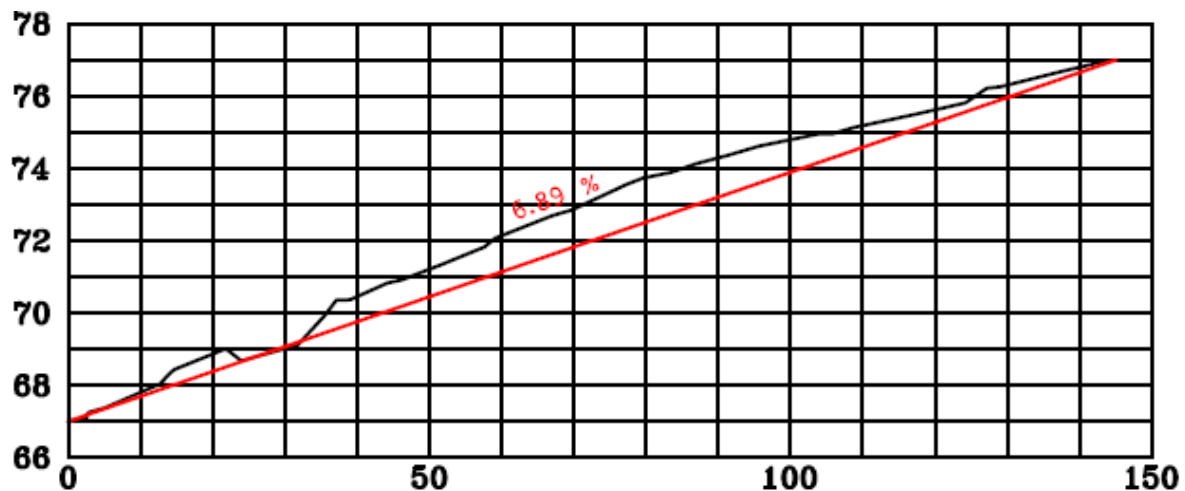
n : Número de carriles deseados

Para realizar el cálculo del ancho de la vía tomaremos como referencia el camión minero 773G, el cual tiene un ancho de 5.7 metros y dos carriles ya que será una vía en doble sentido.

$$A = 5.7m(0.5 + 1.5(2)) = 20 m$$

4.1.3 Pendiente: Es la inclinación del terreno respecto al plano horizontal, a lo largo de la vía se contará con un tramo con desniveles del terreno en el que se plantea la construcción de una rampa con una pendiente máxima del 7%, la cual es óptima para el tránsito de vehículos cargados. Ver Grafico 1.

Gráfico 1. Pendiente de la vía Nivel 70.



Fuente. Datos de estudio, 2017

4.1.4 Radio de curvatura: El radio de curvatura es la magnitud que mide la curvatura de una vía respecto a un punto fijo, se define teniendo diferentes variables como la velocidad de los equipos a transitar por la misma y las características de estos.

El radio de curvatura estimado para el diseño de la vía será de 75m, el cual representa condiciones seguras para la operación de los equipos, este valor se toma con base a la velocidad máxima permitida en la cantera que es de 40 km/h y las características de los equipos de transporte.

La dimensión del radio de curvatura se determinó en base a la delimitación del terreno donde se pretende realizar el trazado de la vía, utilizando en este caso la curva más pronunciada posible, garantizando la seguridad del tránsito de los vehículos.

4.1.5 Peralte: El peralte es la pendiente transversal que se le asigna a las curvas de una vía con el fin de contrarrestar la fuerza centrífuga que actúa sobre el vehículo y también tiene la función de drenado de la vía.

Tabla 15. Peralte según velocidades y radio de curvatura.

e(%)	VCH =20 KM/H R(M)	VCH =30 KM/H R(M)	VCH =40 KM/H R(M)	VCH =50 KM/H R(M)	VCH =60 KM/H R(M)
1,5	194	421	738	1050	1440
2	138	299	525	750	1030
2,2	122	265	465	668	919
2,4	109	236	415	599	825
2,6	97	212	372	540	746
2,8	87	190	334	488	676
3	78	170	300	443	615
3,2	70	152	269	402	561
3,4	61	133	239	364	511
3,6	51	113	206	329	465
3,8	42	96	177	294	422
4	36	82	155	261	380
4,2	31	72	136	234	343
4,4	27	63	121	210	311
4,6	24	56	108	190	283
4,8	21	50	97	172	258
5	19	45	88	156	235
5,2	17	40	79	142	214
5,4	15	36	71	128	195
5,6	15	32	63	115	176
5,8	15	28	56	102	156
6	15	21	43	79	123

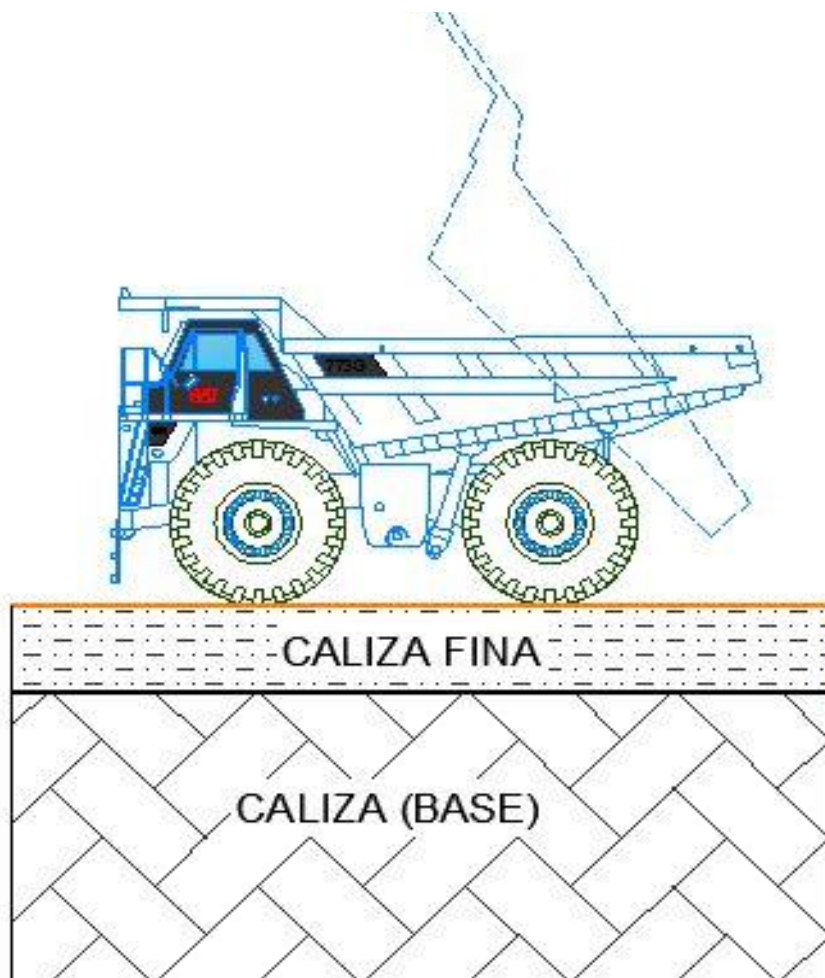
Fuente. Manual de diseño geométrico de carreteras, 2008. P 107

Teniendo como base la tabla 15 podemos calcular el % del peralte necesario para la curva. La velocidad promedio en la cantera es de 40 km/h y el radio de curvatura es de 75m, al ubicar los datos en la tabla nos indica que el peralte optimo es de 5.4%.

4.1.6 Compactación: La compactación es uno de los factores fundamentales a la hora de llevar a cabo el diseño de una carretera, ya que de ello depende la durabilidad que presente la misma, una vía por la cual transitaran camiones mineros de gran tonelaje debe tener una compactación adecuada para evitar su deterioro rápidamente.

El total del trazado de la vía se llevará a cabo sobre caliza, lo que nos brinda un material fuerte como base de la vía, en la parte superior se aplicará una capa de 0.3 m de material fino (caliza triturada), para llevar a cabo la nivelación de la vía y brindar una superficie adecuada para el tránsito de los camiones. Ver ilustración 11.

Ilustración 11. Compactación vía nivel 70



Fuente. Datos de estudio, 2017

4.1.7 Berma: La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple tres funciones básicas: proporciona protección a la vía, que de otro modo no se ven afectadas por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones ocasionales de los vehículos y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad.

Para que estas funciones se cumplan, las bermas deben tener ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección.

Tabla 16. Ancho de bermas.

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGENEO (Vtr). Km/h									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano							2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Ondulado							2,0/1,0	2,0/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Montañoso						1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5	2,0/1,0	
	Escarpado						1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5		
primaria de una calzada	Plano							2	2	2,5	
	Ondulado						1,8	2	2	2,5	
	Montañoso					1,5	1,5	1,8	1,8		
	Escarpado					1,5	1,5	1,8			
secundaria	Plano					1	1,5	1,8			
	Ondulado				1	1	1,5	1,8			
	Montañoso			0,5	0,5	1	1				
	Escarpado			0,5	0,5	0,5					
terciaria	Plano			1							
	Ondulado		0,5	1							
	Montañoso	0,5	0,5	0,5							
	Escarpado	0,5	0,5	0,5							

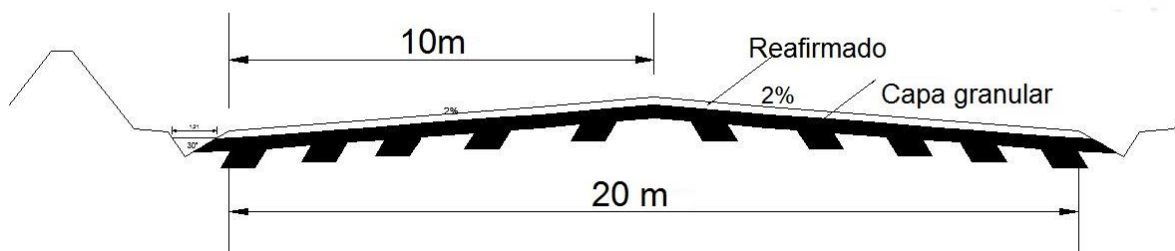
Fuente. Manual de diseño geométrico de carreteras, 2008. P 153

Según la tabla 16 el ancho de la berma debe ser de 1m a cada lado de la vía, la velocidad máxima dentro de la cantera es de 40 km/h y consideramos la vía como terciaria y con un tipo de terreno plano.

4.1.8 Bombeo: Se le denomina bombeo a la pendiente transversal que se da en las vías con el fin de evacuar el agua de escorrentías, hacia los dos hombros de la misma y finalmente hacia las cunetas.

La pendiente transversal que tomaremos es de un 2% la cual nos brinda un correcto drenaje para la vía (Ver ilustración 12).

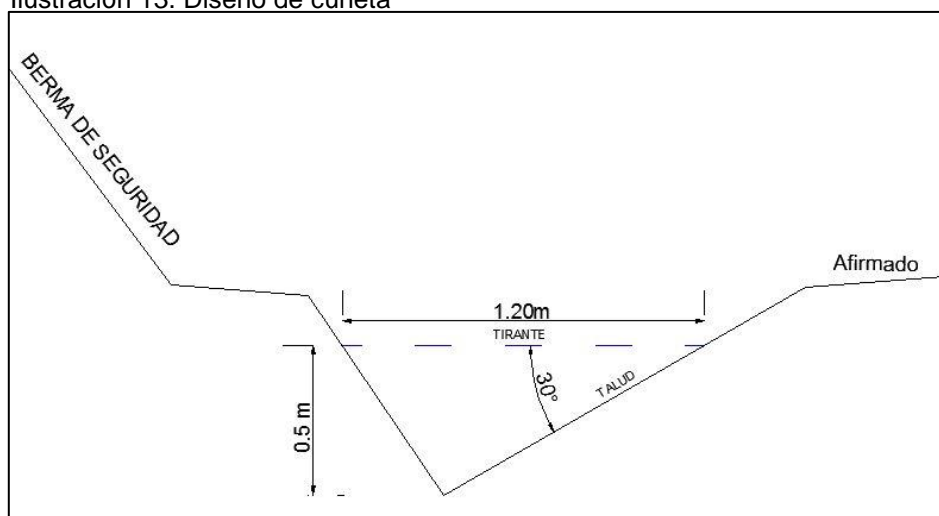
Ilustración 12. Características de la vía(nivel 70)



Fuente: Datos de estudio, 2017.

4.1.9 Cunetas: Son zanjas que se abren a cada lado de la vía, que debido a su menor nivel reciben el agua proveniente del bombeo y la conducen a un lugar donde no afecte o deteriore la vía.

Ilustración 13. Diseño de cuneta



Fuente. Datos de estudio, 2017.

El diseño de las cunetas se realizará por medio de la motoniveladora, las cuales contarán con las siguientes dimensiones: 30° de pendiente en el talud, 0.5 m de profundidad y un tirante de 1.2 m. Ver Ilustración 13.

4.1.10 Criterios de la vía propuesta (nivel 70)

Tabla 17. Características de la vía Trituradora-Nivel 70

Longitud de la vía	490 m
Ancho de la vía	20 m
Pendiente	7 % un tramo
Radio de curvatura	75 m
Peralte	5.4 %
Compactación	Base caliza, 0.30 m de caliza fina
Bermas	1 m a cada costado
Drenaje	El drenaje se hará por medio de cunetas
Bombeo	2 %
Cunetas	1.2 m, con 30° de pendiente y 0.5 m profundidad

Fuente. Datos de estudio, 2017.

En el Anexo B se puede observar la el trazado y características de la vía.

4.1.11 Resultados proyectados con la vía propuesta Nivel 70. Al llevar a cabo la construcción de la vía propuesta para el acarreo de material desde el nivel 70, se evidencia una reducción significativa del tiempo empleado al llevar a cabo el ciclo de transporte.

En la siguiente tabla se presenta los tiempos programados al utilizar la vía propuesta, Ver Tabla 18.

Tabla 18. Ciclo de transporte, frente 1, nivel 70 con la vía propuesta.

CICLO	TTF	TPZC	TCC	TFT	TPT	TDT	TC
Vía propuesta	0:47	0:35	2:56	0:51	0:34	0:33	6:16

TTF: Tiempo trituradora frente; TPZC: Tiempo posicionamiento zona de cargue; TCC: Tiempo cargue del camión; TFT: Tiempo frente trituradora; TPT: Tiempo posicionamiento trituradora; TDT: Tiempo descarga trituradora; TC: Total ciclo

Fuente. Datos de estudio.2017

A continuación, se hace una comparación del ciclo de transporte actual y el propuesto con la nueva vía, Ver tabla 19.

Tabla 19. Ciclo programado vs Ciclo propuesto

CICLO	TTF	TPZC	TCC	TFT	TPT	TDI	TC
Ciclo programado	1:53	0:35	2:56	2:02	0:34	0:33	8:33
Ciclo Propuesto	0:47	0:35	2:56	0:51	0:34	0:33	6:16
Diferencia	1:06	0:00	0:00	1:11	0:00	0:00	2:17

Fuente. Datos de estudio, 2017

Con la implementación de la vía propuesta se reducirán los tiempos de acarreo en 2:17 minutos, es decir el 27% del ciclo actual, cumpliendo con el objetivo principal del presente proyecto.

Con este Ciclo propuesto de transporte las metas de producción por turno se cumplirán en un menor tiempo, disminuyendo costos y gastos en el proceso productivo.

Rendimientos con el ciclo propuesto de transporte: Para el cálculo del nuevo rendimiento se toma como referencia el tiempo de trabajo obtenido en la medición del ciclo actual.

Tiempo trabajado en el turno: 5.8 horas

Capacidad del camión: 50 toneladas

Eficiencia estimada: 0.89%

➤ Producción teórica teniendo como base el tiempo programado con la vía actual

$$Pr = \frac{6.5h * 50ton * 0.89}{0.14h} = 2066 \text{ Ton}$$

Para el cálculo de la producción con la vía propuesta, tomamos como referencia los tiempos programados para llevar a cabo el ciclo de transporte.

➤ Producción teórica teniendo como base el tiempo programado con la vía propuesta

$$Pr = \frac{6.5h * 50ton * 0.89}{0.10h} = 2892 \text{ Ton}$$

Al hacer un análisis de la producción obtenida utilizando la vía propuesta para el transporte del material desde el frente de explotación hasta la trituradora, se puede evidenciar un aumento de 826 toneladas transportadas.

4.2 DISEÑO DE VÍA DE RETORNO DE NIVELES SUPERIORES (NIVEL 80, 90)

Con el diseño de esta vía propuesta se busca reducir considerablemente el tiempo empleado por los camiones en trasladarse desde el frente 1, niveles 80, 90 principalmente, hasta la trituradora. Esta vía será utilizada en un solo sentido (frente-trituradora), la vía por la que actualmente se lleva a cabo el recorrido tiene una longitud de 1020m y 1150 m respectivamente desde el nivel 80 y 90. El trazado de la vía propuesta será desde la trituradora hasta el inicio de la rampa para subir a los niveles superiores, 70 metros antes de llegar al nivel 80 y será utilizada por todos los camiones que estén laborando en el frente uno, excepto cuando se lleven a cabo los trabajos en el nivel 70.

4.2.1 Longitud: La vía contara con una longitud de 400 metros y se encargara de comunicar frente 1, niveles superiores, con la tolva de alimentación de la trituradora Laron. (Ver anexo B). El punto de inicio para el trazado de la vía es la trituradora y como punto final el inicio de la rampa de acceso a los niveles superiores, desde este punto la vía se divide en ramificaciones para ingresar a cada uno de los niveles.

4.2.2 Ancho: La vía debe conservar un ancho mínimo de 3 ½ el ancho del vehículo de mayor capacidad que transite por la mina. El ancho de las vías que se recomienda puede estimarse con la siguiente expresión:

$$A = a(0.5 + 1.5n)$$

A: Ancho de la vía (m)

a: Ancho del vehículo (m)

n: Número de carriles deseados

Para realizar el cálculo del ancho de la vía tomaremos como referencia el camión minero 773G, el cual tiene un ancho de 5.7 metros y un carril ya que esta vía solo se utilizará como vía de retorno a la trituradora.

$$A = 5.7m(0.5 + 1.5(1)) = 11.5m$$

El valor obtenido es inferior a la condición descrita anteriormente de $3 \frac{1}{2}$ el ancho del vehículo de mayor capacidad, por lo cual tomaremos como ancho de la vía 20m lo cual cumple con esta condición.

4.2.3 Pendiente: Es la inclinación del terreno respecto al plano horizontal, a lo largo de la vía se contará con una inclinación de 2.5 % la cual es constante desde la trituradora, hasta el inicio de la rampa de acceso a los niveles superiores.

4.2.4 Radio de curvatura: El radio de curvatura es la magnitud que mide la curvatura de una vía respecto a un punto fijo, se define teniendo diferentes variables como la velocidad de los equipos a transitar por la misma y las características de estos.

El radio de curvatura estimado para el diseño de la vía será de 65m, el cual representa condiciones seguras para la operación de los equipos, este valor se toma con base a la velocidad máxima permitida en la cantera que es de 40 km/h y las características de los equipos de transporte.

La dimensión del radio de curvatura se determinó en base a la delimitación del terreno donde se pretende realizar el trazado de la vía, utilizando en este caso la curva más pronunciada posible, garantizando la seguridad del tránsito de los vehículos.

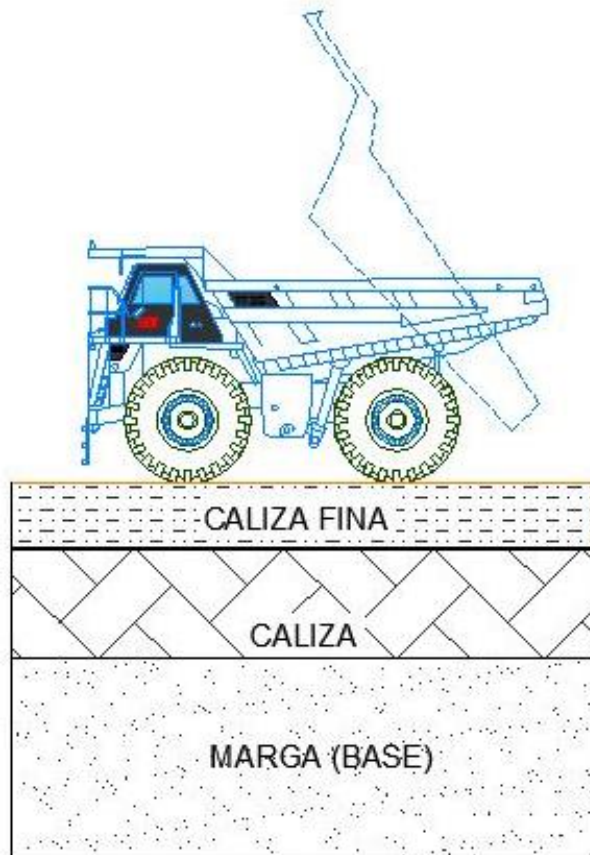
4.2.5 Peralte: El peralte es la pendiente transversal que se le asigna a las curvas de una vía con el fin de contrarrestar la fuerza centrífuga que actúa sobre el vehículo y también tiene la función de drenado de la vía.

Teniendo como base la tabla 15 podemos calcular el % del peralte necesario para la curva. La velocidad promedio en la cantera es de 40 km/h y el radio de curvatura es de 65m, al ubicar los datos en la tabla nos indica que el peralte óptimo es de 5.6%.

4.2.6 Compactación: La compactación es uno de los factores fundamentales a la hora de llevar a cabo el diseño de una carretera, ya que de ello depende la durabilidad que presente la misma, una vía por la cual transitaran camiones mineros de gran tonelaje debe tener una compactación adecuada para evitar su deterioro rápidamente

El trazado de la vía se llevará a cabo en un 70% de la longitud sobre margas, lo que hace necesario emplear una base de 0.5m de caliza extraída de los frentes para crear una base firme y una capa de 0.3m de material fino (caliza triturada), para llevar a cabo la nivelación de la vía y brindar una superficie adecuada para el tránsito de los camiones. Ver Ilustración 14.

Ilustración 14. Compactación vía niveles superiores



Fuente: Datos de estudio, 2017.

4.2. 7 Berma: La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple tres funciones básicas: proporciona protección a la vía, que de otro modo no se ven afectadas por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones ocasionales de los vehículos y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad.

Para que estas funciones se cumplan, las bermas deben tener ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección.

Según la tabla 16 el ancho de la berma debe ser de 1m a cada lado de la vía, la velocidad máxima dentro de la cantera es de 40 km/h y consideramos la vía como terciaria y con un tipo de terreno plano.

4.2.8 Bombeo: Se le denomina bombeo a la pendiente transversal que se da en las vías con el fin de evacuar el agua de escorrentías, hacia los dos hombros de la misma y finalmente hacia las cunetas. La pendiente transversal que tomaremos es de un 2% la cual nos brinda un correcto drenaje para la vía.

4.2.9 Cunetas: Son zanjas que se abren a cada lado de la vía, que debido a su menor nivel reciben el agua proveniente del bombeo y la conducen a un lugar donde no afecte o deteriore la vía.

El diseño de las cunetas se realizará por medio de la motoniveladora, las cuales contarán con las siguientes dimensiones: 30° de pendiente en el talud, 0.5 m de profundidad y un tirante de 1.2 m.

4.2.10 Criterios de la vía propuesta (niveles superiores 80 y 90)

Tabla 20. Características de la vía niveles superiores

Longitud de la vía	400 m
Ancho de la vía	20 m
Pendiente	2.5 %
Radio de curvatura	65 m
Peralte	5.6 %
Compactación	Base caliza del frente 0.5m y 0.3 m de caliza triturada
Bermas	1 m a cada costado
Drenaje	El drenaje se hará por medio de cunetas
Bombeo	2 %
Cunetas	1 m, con 30° de pendiente

Fuente. Datos de estudio, 2017.

4.2.11 Resultados proyectados con la vía propuesta niveles superiores 80, 90: Con la construcción de una nueva vía de retorno desde los niveles superiores se busca la reducción significativa del tiempo empleado por el camión en trasladarse desde el frente de explotación, hasta la trituradora.

En el cálculo de la duración del Ciclo propuesto, solo se tiene en cuenta el nivel 80 y 90, ya que en los niveles superiores no se realizó medición de los tiempos actuales y no se tiene un registro para comparar con la vía propuesta.

En la siguiente tabla se presenta los tiempos programados al utilizar la vía propuesta. Ver Tabla 21.

Tabla 21. Ciclo de transporte, frente 1, nivel 70 con la vía propuesta

CICLO	TTF	TPZC	TCC	TFT	TPT	TDI	TC
Nivel 80	1:20	0:35	2:56	0:48	0:34	0:33	6:46
Nivel 90	1:30	0:35	2:56	1:02	0:34	0:33	7:10

Fuente. Datos de estudio, 2017

A continuación, se hace una comparación del ciclo de transporte programado y el propuesto con la vía propuesta.

Tabla 22. Ciclo programado vs Ciclo propuesto

	NIVEL 80		NIVEL 90		DIFERENCIA	
	Ciclo Programado	Ciclo Propuesto	Ciclo Programado	Ciclo Propuesto	Nivel 80	Nivel 90
TTF	1:20	1:20	1:30	1:30	0:00	0:00
TPZC	0:35	0:35	0:35	0:35	0:00	0:00
TCC	2:56	2:56	2:56	2:56	0:00	0:00
TFT	1:45	0:48	1:59	1:02	0:57	0:57
TPT	0:34	0:34	0:34	0:34	0:00	0:00
TDT	0:33	0:33	0:33	0:33	0:00	0:00
TC	7:43	6:46	8:07	7:10	0:57	0:57

Fuente. Datos de estudio, 2017

Con la implementación de la vía propuesta se reducirán los tiempos de acarreo en 0:57 minutos, es decir el 12% del tiempo programado para el nivel 80 y 14% del nivel 90 cumpliendo con el objetivo principal del presente proyecto.

Con este Ciclo propuesto de transporte las metas de producción por turno se cumplirán en un menor tiempo, disminuyendo costos y gastos en el proceso productivo.

Rendimientos con el Ciclo propuesto de transporte: Para el cálculo del nuevo rendimiento se toma como referencia el tiempo de trabajo obtenido en la medición del ciclo actual.

NIVEL 80

Tiempo trabajado en el turno: 5.9 horas

Capacidad del camión: 50 toneladas

Eficiencia estimada: 0.91%

➤ Producción teórica teniendo como base el tiempo programado con la vía actual

$$\frac{6.5h * 50ton * 0.91}{0.13h} = 2275 \text{ Ton}$$

Para el cálculo de la producción con la vía propuesta, tomamos como referencia los tiempos programados para llevar a cabo el ciclo de transporte.

- Producción teórica teniendo como base el tiempo programado con la vía propuesta

$$\frac{6.5h * 50ton * 0.91}{0.11h} = 2689 \text{ Ton}$$

Al hacer un análisis de la producción obtenida utilizando la vía propuesta para el transporte del material desde el frente de explotación 1 nivel 80 hasta la trituradora, se puede evidenciar un aumento de 414 toneladas transportadas.

NIVEL 90

Tiempo trabajado en el turno: 6 horas

Capacidad del camión: 50 toneladas

Eficiencia estimada: 0.92%

- Producción teórica teniendo como base el tiempo programado con la vía actual

$$\frac{6.5h * 50ton * 0.92}{0.14h} = 2136 \text{ Ton}$$

Para el cálculo de la producción con la vía propuesta, tomamos como referencia los tiempos programados para llevar a cabo el ciclo de transporte.

- Producción teórica teniendo como base el tiempo programado con la vía propuesta

$$\frac{6.5h * 50ton * 0.92}{0.12h} = 2491 \text{ Ton}$$

Al hacer un análisis de la producción obtenida utilizando la vía propuesta para el transporte del material desde el frente de explotación hasta la trituradora, se puede evidenciar un aumento de 355 toneladas transportadas.

4.3 OPTIMIZACIÓN CICLO TRITURADORA-PATIO DE PILAS

Para la optimización del ciclo se propone reducir el número de camiones utilizados a uno y de esta manera se elimina el tiempo muerto generado en la espera para la descarga en la trituradora

La producción teórica actual por camión es de:

$$P_t = \frac{6.5h * 50ton * 0.92}{0.23h} = 1300 \text{ ton}$$

Al llevar a cabo el ciclo de transporte con un solo camión se tendrá la siguiente producción teórica por turno.

$$P_t = \frac{6.5h * 50ton * 0.92}{0.12h} = 2491 \text{ Ton}$$

Que al ser comparada con la producción teórica al llevar a cabo el ciclo con dos camiones obtenemos 1191 ton más por cada camión.

4.4 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE VÍAS

Las vías son obras de infraestructura que demandan atención permanente a través de trabajos de mantenimiento que permita contar con acceso en buenas condiciones y sean transitables, facilitando la circulación de los vehículos³.

4.4.1 Objetivos: Con el fin de brindar información técnica sobre el cuidado de las vías se definen los siguientes objetivos.

Objetivo general

Proporcionar información y técnicas para el adecuado mantenimiento de las vías presentes en la cantera.

³ PERAFAN, Jesús. guía para el mantenimiento rutinario de vías no pavimentadas. Medellín 2013 p 11

Objetivos específicos

- Describir los procedimientos adecuados para llevar a cabo el mantenimiento de las vías
- Realizar una descripción de los equipos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento.
- Brindar seguridad a los camiones que transitan por las vías, generando reducción de los tiempos llevados a cabo en cada ciclo de transporte y disminuir el deterioro de las vías.

4.4.2 Definición: El mantenimiento de las vías consiste en las actividades llevadas a cabo para mantener en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen la vía. Buscando conservar durante un mayor tiempo los trabajos llevados a cabo para la realización de las vías y brindando altos estándares de seguridad para los usuarios que transiten por las mismas.

4.4.3 Elementos de la vía que se necesitan: Los elementos a los cuales se les debe realizar un mantenimiento periódico y preventivo para conservar las vías en excelentes condiciones son los siguientes:

- Ancho de la vía: la forma adecuada para mantener en excelentes condiciones y bien delimitado el trazado de la vía es realizar un chequeo periódico de cada tramo de la misma e informar a los supervisores sobre las anomalías presentes. En esta etapa las medidas de mantenimiento que se deben adoptar son: mantener limpia la zona de materiales extraños como rocas que dejan caer los camiones en circulación, corte de árboles que impidan la visibilidad o que a futuro puedan caer en la vía.
- Obras de drenaje: estas obras tienen como objetivo fundamental recolectar el agua proveniente de las precipitaciones y encaminarlas hacia un lugar en el cual no afecten el normal tránsito de la vía y se evite la erosión de la misma. Para mantener en buen estado las obras de drenaje se debe realizar mantenimiento rutinario tales como: limpieza de las estructuras, garantizando que las aguas que fluyen por las estructuras sean evacuadas rápidamente.

➤ **Señalización Vial:** se compone de las señales de tránsito instaladas en todo el recorrido de las vías de la cantera, para indicar a los usuarios las precauciones que debe tener en cuenta, como advertencias, prohibiciones y limitaciones que presenta el tramo en circulación, con el objetivo de disminuir los riesgos y prevenir accidentes.

Para realizar un mantenimiento rutinario como: limpieza, reparación y remplazo de las señales que se encuentren en muy mal estado.

4.4.4 Equipos y materiales necesarios: Con el objetivo de mantener las vías de la cantera en excelentes condiciones se requiere de una serie de equipos los cuales son, Ver Ilustración 15.

➤ **Camión o volqueta:** esta clase de vehículos es utilizado para transportar material de relleno a tramos de la vía que lo requieran, esta labor será llevada a cabo por los camiones mineros presentes en la cantera.

➤ **Motoniveladora:** la función principal de esta máquina es mantener las superficies de rodadura de las vías en perfectas condiciones, con una nivelación adecuada y libre de cualquier objeto que alteren el tránsito por la misma, este equipo también cumple la función de crear las cunetas para la evacuación de las aguas.

➤ **Camión de riego:** es el equipo utilizado para realizar el riego constante de las vías por las cuales se esté llevando a cabo el tránsito de los equipos de transporte en la cantera, este camión cuenta con un moderno dispositivo de riego instalado en la parte trasera del mismo el cual se acciona desde la cabina, este equipo cuenta con una capacidad de 4000 galones lo que lo hace muy eficiente.

➤ **El material utilizado como relleno y base de la vía es la caliza presente en la cantera.** En casos que se necesite material grueso se hace uso de la caliza presente en los frentes de explotación y para las actividades de nivelación se utiliza caliza triturada a la cual se le puede dar un mejor manejo y moldearla de manera adecuada.

4.4.5 Procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento de la vía

Tabla 23. Procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento de la vía

<p>DESCRIPCIÓN: Consiste en la eliminación de basura, piedras, desperdicios, toda vegetación que crezca en los taludes, terraplenes y obstáculos como pequeños derrumbes que estén dentro de la vía, permitiendo el buen funcionamiento de las obras de drenaje, una buena visibilidad a los conductores y facilite la circulación de los usuarios, brindando comodidad y seguridad.</p>
<p>OBJETO: Mantener limpio de todo elemento extraño, que afecte la seguridad y la comodidad de los usuarios, además de mantener delimitada la franja que delimita la vía.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mantener en excelentes condiciones las vías de la cantera.
<p>FRECUENCIA: se debe ejecutar cuando se encuentren elementos extraños que obstruyan la vía, cuando la vegetación este afectando la visibilidad de los conductores y no se tenga claro la franja que pertenece a la vía.</p>
<p>PROCEDIMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisar que todo el personal cuente con todos los elementos de seguridad industrial como cascos, uniformes etc. ➤ Instalación provisional de señales preventivas y de seguridad, para el manejo temporal del tránsito. ➤ Recorrer los tramos de la vía retirando elementos extraños. ➤ Relleno y nivelación de los tramos de la vía que lo requieran. ➤ Verificación del tramo de carretera intervenido para verificar que haya quedado libre de materiales extraños.
<p>MANO DE OBRA: para llevar a cabo las labores de mantenimiento se contará con personal propio de la cantera.</p>
<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Motoniveladora ➤ Camión o volqueta ➤ Camión de riego
<p>MATERIALES: Para llevar a cabo el relleno en los tramos de la vía que sea necesario se utilizara caliza disponible en la cantera.</p>
<p>VERIFICACION Y APROBACION: se verifica por parte del supervisor que la vía se encuentre en excelentes condiciones y brinde seguridad y comodidad a los operadores.</p>

Fuente: Guía para el mantenimiento rutinario de vías no pavimentadas. Medellín 2013 p 42

Ilustración 15. Mantenimiento de vía.



Fuente: <http://www.guayas.gob.ec/noticias/reconformacion-de-via-los-tintos-zapanal-bapao-jigual-mejora-la-movilidad-en-daule>

4.5 RESUMEN ECONÓMICO

Las construcciones de las dos nuevas vías se llevarán a cabo con equipos y personal propio de la cantera por lo cual no se realizará un cálculo de los costos de las mismas, estas vías se ejecutarán en momentos donde el salón de materiales no requiera más trituración y se tenga total disposición de equipos y personal.

Como método para expresar el ahorro generado al llevar a cabo la optimización de los ciclos se calculara costos por toneladas transportadas.

4.5.1 Costos Ciclo Actual: Para el cálculo de los costos de la vía actual se tendrán en cuenta los siguientes aspectos: personal, combustible y lubricación.

Costos por personal: En la cantera se llevan a cabo dos turnos de 8 horas, los cuales cuentan con el siguiente personal. Ver Tabla 24.

Tabla 24. Personal cantera.

CANTIDAD	TURNO A	TURNO B
1	Supervisor	Supervisor
5	Operadores de Camión	Operadores De Camión
2	Operadores de Cargador	Operadores De Cargador
2	Operadores de Bulldozer	Operadores De Bulldozer
2	Ayudantes e Planta (Labores En Trituradora)	Ayudantes De Planta (Labores En Trituradora)
1	Operador de Trituración	Operador De Trituración

Fuente: Datos de estudio. 2017

Para el cálculo del costo por personal se tomará el salario de un día de los colaboradores y se divide entre el número de toneladas transportadas por turno desde cada nivel de explotación. Ver Tabla 25.

Tabla 25. Salario personal cantera

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	SALARIO (MES)	SALARIO (DIA)	TOTAL SALARIO
1	Supervisor	\$ 2.580.000	\$ 86.000	\$ 86.000
5	Operadores de Camión	\$ 2.350.000	\$ 78.333	\$391.665
2	Operadores de Cargador	\$ 2.350.000	\$ 78.333	\$156.666
2	Operadores de Bulldozer	\$ 2.350.000	\$ 78.333	\$156.666
2	Ayudantes de Planta (Labores En Trituradora)	\$ 1.800.000	\$ 60.000	\$120.000
1	Operador de Trituración	\$ 2.420.000	\$ 80.666	\$80.666
TOTAL SALARIO POR TURNO		\$ 13.850.000	\$ 461.665	991.663

Fuente: Datos de estudio. 2017

La producción teórica con el tiempo programado para la vía actual desde el nivel 70, es de 2066 ton por turno, por cada camión. Lo que significa que al llevar a cabo la trituración de caliza se tendrá una producción total en el turno de 4132 ton

trituradas. Este mismo cálculo se realizará con cada uno de los frentes optimizados.

$$\text{Costo por personal } \textbf{Nivel 70: } \frac{\$ 678.331}{4132 \text{ ton}} = 164.16 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por personal } \textbf{Nivel 80: } \frac{\$ 678.331}{4550 \text{ ton}} = 149.08 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por personal } \textbf{Nivel 90: } \frac{\$ 678.331}{4272 \text{ ton}} = 158.78 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por personal } \textbf{PP: } \frac{\$ 678.331}{4982 \text{ ton}} = 153.41 \text{ \$/ton}$$

Costo por combustible: Estos costos son los generados por la maquinaria encargadas de cada uno de las labores de la cantera. Ver Tabla 26.

Tabla 26. Costo por combustible

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO DE UNIDAD POR HORA	COSTO DE UNIDAD POR TURNO	COSTO TOTAL POR TURNO
CAMION 773G/F	3	\$ 36.750	\$ 294.000	\$ 882.000
CAMION DRESSER	1	\$ 31.500	\$ 252.000	\$ 252.000
CAMION DE RIEGO	1	\$ 7.000	\$ 56.000	\$ 56.000
MOTONIVELADORA 120G	1	\$ 17.500	\$ 140.000	\$ 140.000
CARGADOR KOMATSUT WA600	2	\$ 48.125	\$ 385.000	\$ 770.000
BULLDOZER KOMATSUT D275A	2	\$ 43.750	\$ 350.000	\$ 700.000
TOTAL		\$ 184.625	\$ 1.477.000	\$ 2.800.000

Fuente: Datos de estudio, 2017

$$\text{Costo por combustible } \textbf{Nivel 70: } \frac{\$ 1.379.000}{4132 \text{ ton}} = 333.73 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por combustible } \textbf{Nivel 80: } \frac{\$ 1.379.000}{4550 \text{ ton}} = 303.07 \text{ \$/ton}$$

Costo por combustible **Nivel 90:** $\frac{\$ 1.379.000}{4272 \text{ ton}} = 322.79 \text{ \$/ton}$

Costo por combustible **PP:** $\frac{\$ 1.379.000}{4982 \text{ ton}} = 276.79 \text{ \$/ton}$

Costos por lubricación: Para llevar a cabo el cálculo de estos costos se contó con la ayuda del departamento de mantenimiento los cuales brindaron los siguientes datos. Ver Tabla 27.

Tabla 27. Costos por lubricación.

EQUIPO	NUMERO DE EQUIPOS	COSTO POR HORA	COSTO POR TURNO
CAMION 773G/F	3	\$ 3.089	\$ 74.136
CAMION DRESSER	1	\$ 3.089	\$ 24.712
MOTONIVELADORA 120G	1	\$ 686	\$ 5.488
CARGADOR KOMATSUT WA600	2	\$ 1.670	\$ 26.720
BULLDOZER KOMATSUT D275A	2	\$ 971	\$ 15.536
TOTAL		\$ 9.505	\$ 146.592

Fuente: Datos de estudio, 2017.

NOTA: En los costos por lubricación no se tiene en cuenta el camión de riego ya que el equipo está en alquiler y los gastos corren por cuenta del arrendatario.

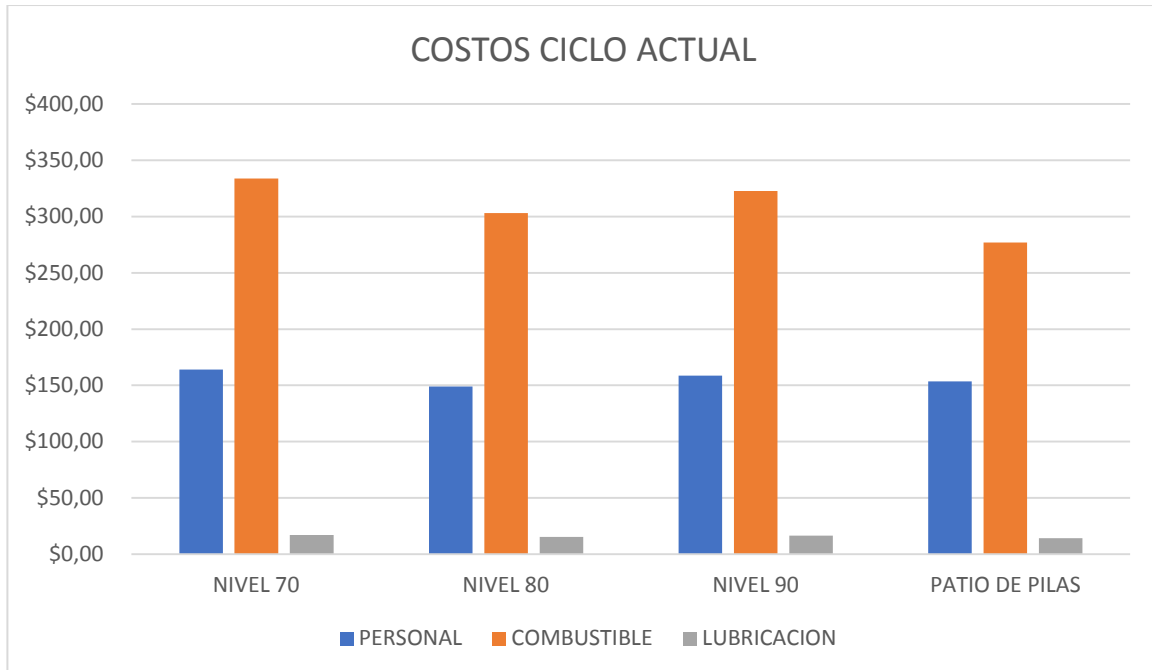
Costo por lubricación **Nivel 70:** $\frac{\$ 70.552}{4132 \text{ ton}} = 17.07 \text{ \$/ton}$

Costo por lubricación **Nivel 80:** $\frac{\$ 70.552}{4550 \text{ ton}} = 15.50 \text{ \$/ton}$

Costo por lubricación **Nivel 90:** $\frac{\$ 70.552}{4272 \text{ ton}} = 16.51 \text{ \$/ton}$

Costo por lubricación **PP:** $\frac{\$ 70.552}{4982 \text{ ton}} = 14.16 \text{ \$/ton}$

Gráfico 2. Costos de ciclo actual.



Fuente. Datos de estudio, 2017.

4.5.2 Costo ciclo propuesto

Costo por personal: El personal de la cantera será el mismo del ciclo actual, para llevar a cabo el cálculo de los costos por cada uno de los aspectos anteriormente descritos. Este valor se divide entre las toneladas proyectadas a transportar con el Ciclo propuesto.

Costo por personal **Nivel 70:** $\frac{\$ 678.331}{5784 \text{ ton}} = 117.27 \text{ \$/ton}$

Costo por personal **Nivel 80:** $\frac{\$ 678.331}{5378 \text{ ton}} = 126.13 \text{ \$/ton}$

Costo por personal **Nivel 90:** $\frac{\$ 678.331}{4982 \text{ ton}} = 136.15 \text{ \$/ton}$

Costo por personal **PP:** $\frac{\$ 521.665}{4982 \text{ ton}} = 104.70 \text{ \$/ton}$

Nota: El acarreo desde el patio de pilas se llevará a cabo con un camión.

Costo por combustible

$$\text{Costo por combustible } \textbf{nivel 70: } \frac{\$ 1.379.000}{5784 \text{ ton}} = 238.41 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por combustible } \textbf{nivel 80: } \frac{\$ 1.379.000}{5378 \text{ ton}} = 256.41 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por combustible } \textbf{nivel 90: } \frac{\$ 1.379.000}{4982 \text{ ton}} = 276.79 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por combustible } \textbf{PP: } \frac{\$ 1.085.000}{4982 \text{ ton}} = 217.78 \text{ \$/ton}$$

Costo por lubricación

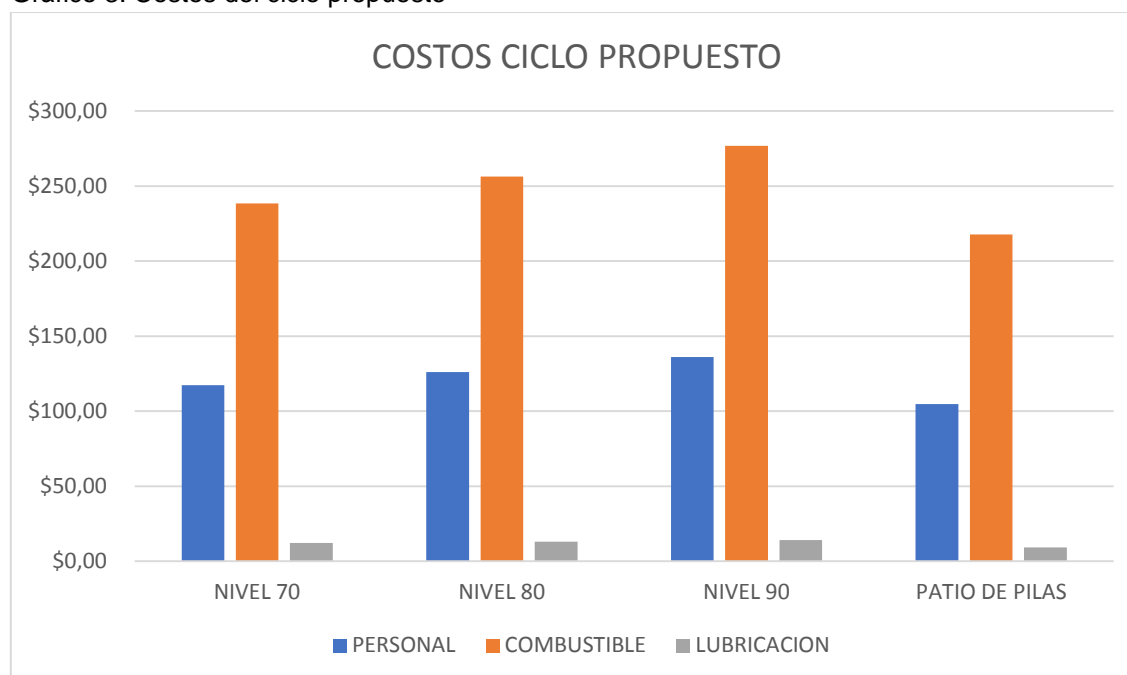
$$\text{Costo por lubricación } \textbf{nivel 70: } \frac{\$ 70.552}{5784 \text{ ton}} = 12.19 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por lubricación } \textbf{nivel 80: } \frac{\$ 70.552}{5378 \text{ ton}} = 13.11 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por lubricación } \textbf{nivel 90: } \frac{\$ 70.552}{4982 \text{ ton}} = 14.16 \text{ \$/ton}$$

$$\text{Costo por lubricación } \textbf{PP: } \frac{\$ 45.840}{4982 \text{ ton}} = 9.20 \text{ \$/ton}$$

Gráfico 3. Costos del ciclo propuesto



Fuente. Datos de estudio, 2017.

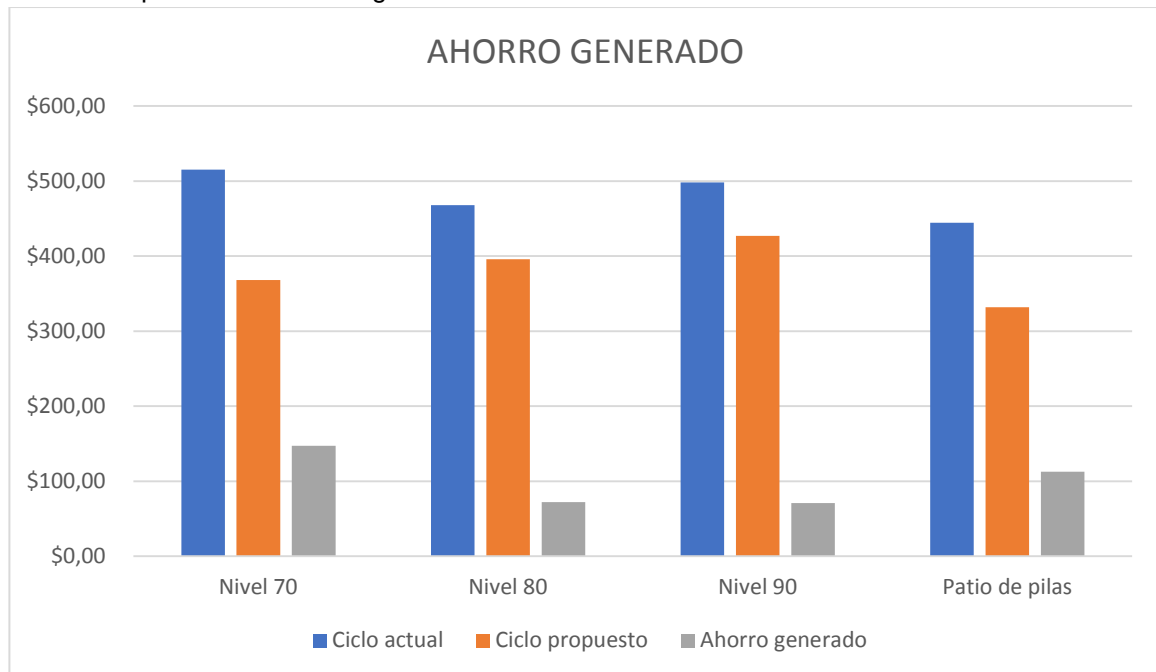
4.5.3 Ahorro generado: El ahorro generado en base a los costos totales implementando las propuestas de optimización. Ver Tabla 28, ver gráfico 4.

Tabla 28. Ahorro generado por tonelada transportada con la propuesta de optimización

		NIVEL 70	NIVEL 80	NIVEL 90	PATIO DE PILAS
CICLO ACTUAL	PERSONAL	\$ 164.16	\$149.08	\$ 158.78	\$ 153.41
	COMBUSTIBLE	\$ 333.73	\$ 303.07	\$ 322.79	\$ 276.79
	LUBRICACION	\$ 17.07	\$ 15.50	\$ 16.51	\$ 14.16
	TOTAL	\$ 514.96	\$ 467.65	\$ 498.08	\$ 444.36
CICLO PROPUESTO	PERSONAL	\$ 117.27	\$ 126.13	\$ 136.15	\$ 104.70
	COMBUSTIBLE	\$ 238.41	\$ 256.41	\$ 276.79	\$ 217.78
	LUBRICACION	\$ 12.19	\$ 13.11	\$ 14.16	\$ 9.20
	TOTAL	\$ 367.87	\$ 395.65	\$ 427.1	\$ 331.68
	AHORRO GENERADO	\$ 147.09	\$ 72	\$ 70.98	\$ 112.68

Fuente. Datos de estudio, 2017.

Gráfico 4. Comparación de ahorro generado



Fuente. Datos de estudio, 2017

CONCLUSIONES

- Como resultado del análisis de los ciclos de transporte llevados a cabo en la cantera, se plantearon unas propuestas para la disminución del tiempo empleado en la ejecución de los mismos.
- La maquinaria disponible dentro la cantera para llevar a cabo las operaciones mineras se encuentran en un muy buen estado, brindándonos una alta confiabilidad al hacer uso de las mismas.
- Mediante el comparativo de las toneladas transportadas en igual número de horas de trabajo de los equipos de transporte, se logró establecer que el ciclo de transporte de caliza desde el frente 1, nivel 70, se lleva a cabo con un 28% de tiempos adicionales a lo programado por parte de la compañía, el nivel 80 con un 29%, nivel 90 con 35% y finalmente el ciclo de transporte de mezcla desde el patio de pilas hasta la trituradora el cual presenta retrasos del 100%.
- La optimización del ciclo de transporte desde el frente 1, nivel 70 hasta la trituradora, se llevara a cabo mediante el diseño de una vía propuesta para el tránsito de los camiones, reduciéndose en un 23% el tiempo programado para llevar a cabo el ciclo.
- con base en los datos obtenidos del ciclo actual para el transporte de mezcla desde el patio de pilas hasta la trituradora, se propuso la reducción de los camiones empleados para el acarreo del material y de esta manera reducir el tiempo muerto en el ciclo.

se diseñó una vía para el retorno de los camiones cargados desde el frente 1, niveles superiores hasta la trituradora, la cual disminuirá de forma significativa el tiempo empleado en la ejecución del ciclo de transporte y se aumentará la producción.

RECOMEDACIONES

- El primer problema que se observó al llevar a cabo el proyecto, es el tiempo empleado por los colaboradores para comenzar sus actividades, afectando los rendimientos del turno. Se recomienda un control estricto en los tiempos programados para el ingreso del personal a la plata, preparación de los equipos, almuerzo del personal y finalización de turnos, buscando aumentar el tiempo de trabajo del personal en cada turno.
- Al realizar el ciclo de transporte de mezcla, se pueden generar tiempos muertos en la zona de cargue debido a la poca organización de los materiales acopiados, como medida para evitar estos tiempos muertos se propone mantener cada pila de material en un orden adecuado
- Buscando la eficiencia operacional dentro de cada una de las labores llevadas a cabo en la cantera se recomienda una capacitación constante de los operadores de los equipos (cargadores, camiones, motoniveladora, otros).
- Se recomienda mantener las vías limpias de objetos extraños como rocas, lo cual dificulta la operación del equipo y reduce la vida útil de los neumáticos.
- Otro de los factores que afecta el rendimiento del turno, es el cambio de material triturado durante la operación, ya que se debe parar la alimentación del equipo para poder ejecutar esta maniobra, una manera de evitar este tiempo improductivo es mantener durante amplios lapsos de tiempo un mismo material de trituración.
- La vida útil de los equipos es proporcional al cuidado que se le den al mismo en su uso diario, se recomienda evitar la sobrecarga de los camiones y cargadores contribuyendo al cuidado de la maquinaria disponible.
- Finalmente se recomienda aplicar cada una de las propuestas presentadas en el presente proyecto, las cuales se basan en un completo trabajo de campo y análisis de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Catálogo camión de obras 773F, 2012. 28 pág.
- Documentos empresa Cementos Argos S. A.
- Gestión de actividades para el mejoramiento de la eficiencia operacional de la mina Santa Ana cementos argos s.a planta Cartagena. Esteban Parra Reales, 2014.
- Guía para el mantenimiento rutinario de vías o pavimentadas. Wilfran de Jesús Perafan, 2013.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Santafé de Bogotá DC. ICONTEC, 2008. NTC 1486.
- Manual de diseño geométrico de carreteras. Ministerio de transportes, 2008
- Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo, Montse Jorba, V. Ramón Vallejo. Departamento de medio Ambiente, 2010.
- P.T.O Programa de trabajo y obras método de minería a cielo abierto, minerales caliza, margas y arcillas. Minería especial, 2013.

GLOSARIO

CEMENTO: Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire.

CALIZA: Roca sedimentaria formada principalmente por carbono de calcio que se caracteriza por presentar efervescencia por acción de los ácidos diluidos en frío.

CANTERA: Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridos.

YACIMIENTO: Lugar en el que se encuentran de forma natural minerales, rocas o fósiles, especialmente cuando puede ser objeto de explotación.

CLINKER: El Clinker se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura entre 1350 y 1450°C. El Clinker es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento portland.

OPTIMIZACIÓN: Sistema para que el resultado sea el mejor posible.

FRENTE DE EXPLOTACIÓN: Lugar en el cual se lleva a cabo el arranque del material, en este sitio se lleva a cargo del material en los camiones.

CICLOS DE TRANSPORTE: Tiempo empleado por los diferentes equipos en realizar el cargue y acarreo del material explotado desde el frente de explotación hasta la trituradora,

RENDIMIENTO: Es la proporción entre los medios empleados para obtener algo y el resultado que se consigue.

COSTOS: Todo proceso de producción de un bien supone el consumo o desgaste de una serie de factores productivos, el concepto de costo está íntimamente ligado al sacrificio incurrido para producir un bien.

ANEXOS

ANEXO C

Transporte de caliza del nivel 70 a la trituradora										
camión: 773G		operador: Carlos Corrales			fecha 12-sep-16					
cargador: WA 600 #1		operador: Pedro Severiche					TIEMPO MUERTO		TIEMPO TOTAL	
VIAJE	TIEMPO AL FRENTE	TIEMPO DE PARQUEO	TIEMPO DE CARGUE	TIEMPO A TRITURADOR A	TIEMPO PARQUEO TRITURADORA	TIEMPO DE DESCARGUE	TRITURADORA	ZONA DE CARGUE	TOTAL SIN TIEMPO MUERTO	TIEMPO TOTAL
1	0:02:25	0:00:44	0:03:00	0:02:30	0:00:43	0:00:35	0:00:00	0:00:00	0:09:57	0:09:57
2	0:02:41	0:00:47	0:02:44	0:02:40	0:00:40	0:00:34	0:00:00	0:00:00	0:10:06	0:10:06
3	0:02:25	0:00:43	0:02:56	0:02:41	0:00:41	0:00:35	0:00:00	0:03:16	0:10:01	0:13:17
4	0:02:39	0:00:50	0:03:00	0:02:32	0:00:36	0:00:37	0:00:00	0:00:00	0:10:14	0:10:14
5	0:02:24	0:00:42	0:02:50	0:03:19	0:00:40	0:00:31	0:00:00	0:00:00	0:10:26	0:10:26
6	0:02:23	0:01:00	0:03:23	0:03:08	0:00:35	0:00:33	0:00:00	0:02:34	0:11:02	0:13:36
7	0:02:27	0:00:47	0:03:12	0:03:02	0:00:36	0:00:33	0:00:00	0:00:00	0:10:37	0:10:37
8	0:02:32	0:00:39	0:03:06	0:02:52	0:00:38	0:00:31	0:00:00	0:00:00	0:10:18	0:10:18
9	0:02:36	0:00:42	0:02:55	0:02:55	0:00:34	0:00:36	0:00:00	0:00:20	0:10:18	0:10:38
10	0:02:28	0:00:38	0:03:02	0:03:12	0:00:42	0:00:34	0:00:00	0:00:00	0:10:36	0:10:36
TOTAL PROMEDIO	0:02:30	0:00:45	0:03:01	0:02:53	0:00:38	0:00:34			0:10:22	0:10:59

Fuente: Datos de estudio, 2017.

ANEXO D

Transporte de caliza del nivel 80 a la trituradora										
camión: 773G		operador: Amauris Herazo		fecha 05-sep-16						
cargador: WA 600 #1		operador: Antonio Alvares					TIEMPO MUERTO		TIEMPO TOTAL	
VIAJE	TIEMPO AL FRENTE	TIEMPO DE PARQUEO	TIEMPO DE CARGUE	TIEMPO A TRITURADOR A	TIEMPO PARQUEO TRITURADORA	TIEMPO DE DESCARGUE	TRITURADORA	ZONA DE CARGUE	TOTAL SIN TIEMPO MUERTO	TIEMPO TOTAL
1	0:01:45	0:00:32	0:03:05	0:02:03	0:00:28	0:00:31	0:00:56	0:00:00	0:08:24	0:09:20
2	0:01:50	0:00:29	0:02:42	0:02:25	0:00:27	0:00:32	0:02:00	0:01:00	0:08:25	0:11:25
3	0:01:50	0:00:45	0:03:09	0:02:26	0:00:30	0:00:34	0:00:48	0:00:00	0:09:14	0:10:02
4	0:01:45	0:00:46	0:02:30	0:02:23	0:00:28	0:00:35	0:01:00	0:00:00	0:08:27	0:09:27
5	0:01:45	0:00:35	0:03:00	0:01:57	0:00:29	0:00:36	0:00:57	0:00:50	0:08:22	0:10:09
6	0:01:47	0:00:38	0:02:50	0:02:19	0:00:28	0:00:36	0:01:55	0:00:42	0:08:38	0:11:15
7	0:01:50	0:00:35	0:02:43	0:02:12	0:00:30	0:00:33	0:00:47	0:00:00	0:08:23	0:09:10
8	0:01:44	0:00:31	0:02:37	0:02:21	0:00:33	0:00:34	0:00:52	0:00:00	0:08:20	0:09:12
9	0:01:42	0:00:42	0:02:53	0:02:10	0:00:31	0:00:32	0:00:45	0:00:00	0:08:30	0:09:15
10	0:01:48	0:00:36	0:02:40	0:02:22	0:00:30	0:00:35	0:01:02	0:00:20	0:08:31	0:09:53
TOTAL PROMEDIO	0:01:47	0:00:37	0:02:49	0:02:16	0:00:29	0:00:34			0:08:31	0:09:55

Fuente. Datos de estudio, 2017.

ANEXO E

Transporte de caliza del nivel 90 a la trituradora										
camión: 773G		operador: Cristóbal Mendoza		fecha: 11-oct-16						
cargador: WA 600 #1		operador: Pedro Severiche						TIEMPO MUERTO		TIEMPO TOTAL
VIAJE	TIEMPO AL FRENTE	TIEMPO DE PARQUEO	TIEMPO DE CARGUE	TIEMPO A TRITURADOR A	TIEMPO PARQUEO TRITURADORA	TIEMPO DE DESCARGUE	TRITURADORA	ZONA DE CARGUE	TOTAL SIN TIEMPO MUERTO	TIEMPO TOTAL
1	0:02:54	0:00:40	0:03:32	0:03:02	0:00:22	0:00:29	0:00:19	0:00:00	0:10:59	0:11:18
2	0:02:58	0:00:38	0:03:10	0:03:06	0:00:35	0:00:37	0:00:00	0:00:47	0:11:04	0:11:51
3	0:02:45	0:00:41	0:03:15	0:02:56	0:00:33	0:00:31	0:00:00	0:00:00	0:10:41	0:10:41
4	0:02:48	0:00:27	0:03:06	0:02:40	0:00:32	0:00:33	0:00:27	0:00:00	0:10:06	0:10:33
5	0:02:50	0:00:31	0:03:13	0:02:50	0:00:40	0:00:36	0:00:00	0:00:28	0:10:40	0:11:08
6	0:02:47	0:00:36	0:03:18	0:03:11	0:00:35	0:00:29	0:00:10	0:00:00	0:10:56	0:11:06
7	0:03:06	0:00:30	0:03:25	0:03:07	0:00:28	0:00:31	0:00:00	0:00:00	0:11:07	0:11:07
8	0:02:43	0:00:28	0:03:21	0:03:14	0:00:26	0:00:38	0:00:15	0:00:00	0:10:50	0:11:05
9	0:02:38	0:00:26	0:02:56	0:03:00	0:00:34	0:00:28	0:00:00	0:00:00	0:10:02	0:10:02
10	0:02:55	0:00:34	0:03:02	0:03:17	0:00:25	0:00:30	0:00:00	0:00:15	0:10:43	0:10:58
TOTAL PROMEDIO	0:02:50	0:00:33	0:03:14	0:03:02	0:00:31	0:00:32			0:10:43	0:10:59

Fuente. Datos de estudio, 2017.

ANEXO F

Transporte de mezclas del patio de pilas a la trituradora										
camion: 773G		operador: Amauris Herazo		fecha 03-oct-16			TIEMPO MUERTO		TIEMPO TOTAL	
cargador: WA 600 #1		operador: Antonio Alvares					TRITURADORA	ZONA DE CARGUE	TOTAL SIN TIEMPO MUERTO	TIEMPO TOTAL
VIAJE	TIEMPO AL FRENTE	TIEMPO DE PARQUEO	TIEMPO DE CARGUE	TIEMPO A TRITURADOR A	TIEMPO PARQUEO TRITURADORA	TIEMPO DE DESCARGUE				
1	0:01:18	0:00:25	0:02:35	0:01:29	0:00:31	0:00:32	0:07:47	0:00:00	0:06:50	0:14:37
2	0:01:22	0:00:26	0:02:15	0:01:31	0:00:38	0:00:33	0:07:12	0:00:00	0:06:45	0:13:57
3	0:01:30	0:00:18	0:02:17	0:01:41	0:00:45	0:00:34	0:05:40	0:00:00	0:07:05	0:12:45
4	0:01:28	0:00:13	0:02:19	0:01:35	0:00:44	0:00:35	0:09:10	0:00:00	0:06:54	0:16:04
5	0:01:29	0:00:24	0:02:47	0:01:37	0:00:30	0:00:34	0:05:40	0:00:00	0:07:21	0:13:01
6	0:01:27	0:00:30	0:03:03	0:01:43	0:00:39	0:00:30	0:06:13	0:00:00	0:07:52	0:14:05
7	0:01:24	0:00:26	0:02:27	0:01:30	0:00:37	0:00:31	0:07:05	0:00:00	0:06:55	0:14:00
8	0:01:26	0:00:31	0:02:33	0:01:27	0:00:33	0:00:33	0:06:22	0:00:00	0:07:03	0:13:25
9	0:01:19	0:00:22	0:02:42	0:01:35	0:00:41	0:00:35	0:08:30	0:00:00	0:07:14	0:15:44
10	0:01:22	0:00:27	0:02:23	0:01:32	0:00:36	0:00:31	0:07:08	0:00:00	0:06:51	0:13:59
TOTAL PROMEDIO	0:01:24	0:00:24	0:02:32	0:01:34	0:00:37	0:00:33			0:07:05	0:14:10

Fuente. Datos de estudio, 2017.